

Trabajo Fin de Grado

Análisis de la expansión urbana y de las superficies
vegetales en la ciudad Zaragoza mediante
Teledetección y SIG entre 1927 y 2012

Autor

Juan Mar Beguería

Director

Juan de la Riva Fernández

Facultad de Filosofía y Letras
2016

RESUMEN

Las ciudades han experimentado un crecimiento sin precedentes en el último siglo debido al aumento de la población mundial, la industrialización y la concentración de la riqueza y el trabajo en el medio urbano, convirtiéndose en los espacios de mayor importancia a nivel global. La utilización de las Tecnologías de la Información Geográfica como los Sistemas de Información Geográfica o la teledetección pueden ser herramientas idóneas para realizar estudios y análisis urbanos, así como posibles instrumentos para su planificación y ordenación. Este trabajo tiene dos objetivos principales: el primero es el análisis de la evolución urbana de la ciudad de Zaragoza desde 1927 hasta 2012, a partir de la foto-interpretación de fotografías aéreas; el segundo es el análisis de los cambios temporales en la presencia de vegetación en la ciudad desde 1972 hasta 2012, apoyándose en el tratamiento digital de imágenes de satélite. Todo este análisis se ha apoyado en una revisión de las políticas de planeamiento urbano aplicadas durante el Siglo XX y principios del XXI.

Palabras clave: Zaragoza, ciudad, expansión urbana, urbanización, crecimiento urbano, Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), teledetección, Sistemas de Información Geográfica (SIG) vegetación urbana

ABSTRACT

Cities have experienced a significant growth in the last century due to increasing world population, industrialization, and the wealth's and job's concentration in urban areas, making them most important globally. The Geographic Information Sciences and Technologies (GIS and remote sensing) can be useful for urban studies and analysis, as well as instruments for planning and management of cities. The present work has two main objectives. The first is the analysis of urban evolution of the city of Zaragoza from 1927 to 2012, using photo-interpretation of aerial photographs. The other main objective is the analysis of temporal changes in the presence of vegetation in the city from 1972 to 2012, based on satellite images treatment. All of this has been based on a review of urban planning policies applied during the twentieth century and early twenty-first.

Key words: Zaragoza, city, urban sprawl, urbanization, urban growth, Geographic Information Sciences and Technologies (GIT&T), Remote Sensing, Geographic Information Systems (GIS), urban green

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS DEL TRABAJO	2
3	ÁREA DE ESTUDIO	2
3.1	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	2
3.2	EVOLUCIÓN URBANA DE ZARAGOZA (1900-ACTUALIDAD)	3
4	METODOLOGÍA.....	12
4.1	FOTOINTERPRETACIÓN DE LA EXPANSIÓN URBANA DE ZARAGOZA.....	12
4.1.1	Fotografías aéreas utilizadas.....	13
4.1.2	Georreferenciación de las fotografías aéreas.....	22
4.1.3	Generación del mosaico fotográfico	26
4.1.4	Foto-clasificación: definición de leyenda, criterios para la foto-identificación y escala de análisis	29
4.2	ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE CUBIERTA VEGETAL EN ZARAGOZA MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT.....	34
4.2.1	Selección de las imágenes satélites utilizadas y sus características	34
4.2.2	Pretratamiento digital de las imágenes	36
4.2.3	Aplicación del NDVI para la definición de la presencia de vegetación	38
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
5.1	EVOLUCIÓN DE LA URBANIZACIÓN ENTRE 1927 Y 2012	41
5.1.1	1927-1939: Los inicios de la expansión urbana	44
5.1.2	1947-1984: De la autarquía a la Transición pasando por el Desarrollismo	47
5.1.3	1984-2012. La ciudad en Democracia: Hacía una ciudad del Siglo XXI.....	52
5.2	EVOLUCIÓN DE LA PRESENCIA VEGETAL EN LA CIUDAD ENTRE 1972 Y 2012	55
6	CONCLUSIONES	61
7	BIBLIOGRAFÍA.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de la ciudad de Zaragoza.	3
Figura 2. Evolución demográfica de Zaragoza (1900-2011). Fuente: IAEST.....	3
Figura 3. Magnitud, en ND, de la dispersión atmosférica (1984).	37
Figura 4. Magnitud, en ND, de la dispersión atmosférica (1990).	37
Figura 5. Expansión urbana de la ciudad de Zaragoza entre 1927 y 2012.....	42
Figura 6. Evolución de la superficie de la ciudad de Zaragoza, en ha (1927-2012).	43
Figura 7. Evolución de la distribución por tipologías del suelo urbano, en ha (1927-2012).....	43

Figura 8. Zaragoza en 1927. Tipología de suelo urbano.....	45
Figura 9. Zaragoza en 1939. Tipología de suelo urbano.....	46
Figura 10. Zaragoza en 1949. Tipología de suelo urbano.....	48
Figura 11. Evolución de la distribución por tipologías del suelo urbano, en porcentaje (1947 y 1965).	49
Figura 12. Evolución de la distribución por tipologías del suelo urbano, en ha (1947, 1965 y 1984).	49
Figura 13. Zaragoza en 1965. Tipología de suelo urbano.....	50
Figura 14. Zaragoza en 1984. Tipología de suelo urbano.....	51
Figura 15. Evolución de la distribución por tipologías del suelo urbano, en ha (1984 y 1997). .	52
Figura 16. Zaragoza en 1997. Tipología de suelo urbano.....	53
Figura 17. Zaragoza en 2012. Tipología de suelo urbano.....	54
Figura 18. Evolución de la superficie de zonas verdes, en ha (1927-2012)	55
Figura 19. Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 1972.....	56
Figura 20. Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 1984.....	57
Figura 21. Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 1999.....	58
Figura 22. Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 2012.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Convivencia de industria y residencia. Fuente: CHE (1927).	4
Ilustración 2. Barrio de Delicias. Fuente: CHE (1927).....	5
Ilustración 3. Facultades de Filosofía y Derecho, 1947. Fuente: CNIG.	6
Ilustración 4. Las Fuentes en 1965. Fuente: Ayto. de Zaragoza.....	7
Ilustración 5. Barrio de Delicias consolidado (1965). Fuente: Ayto. de Zaragoza.....	8
Ilustración 6. ACTUR y Zalfonada en construcción (1985). Fuente: Ayto. de Zaragoza.	9
Ilustración 7. Montecanal en construcción (1997). Fuente: SIG Oleícola.....	11
Ilustración 8. Recinto Expo, Estación Delicias y Milla Digital (2012). Fuente: PNOA.	12
Ilustración 9. Segmento mal unido de dos imágenes aéreas de 1939.....	13
Ilustración 10. Fotoplano de Zaragoza, 1927. Fuente: CHE.	14
Ilustración 11. Vuelo fotogramétrico de Zaragoza, 1939. Fuente: Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Zaragoza	15
Ilustración 12. Vuelo americano de 1946 sobre Zaragoza. Fuente: CNIG.....	16
Ilustración 13. Vuelo fotogramétrico de Zaragoza, 1965. Fuente: Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Zaragoza.	17
Ilustración 14. Imagen fotogramétrica de Zaragoza, 1984. Fuente: Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Zaragoza.	18
Ilustración 15. Ortofoto del SIG Oleícola, 1997. Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.	19
Ilustración 16. Ortofoto PNOA 2012. Fuente: CNIG.....	20
Ilustración 17. Imágenes digitalizadas de 1950 (izda.) y 1988 (dcha.). Fuente: Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Zaragoza.	21
Ilustración 18. Puntos de control sobre imagen de 1946.	23

Ilustración 19. Puntos de control y ausencia de los mismos sobre el fotoplano de 1927 (CHE).....	25
Ilustración 20. Fotograma de 1984 georreferenciado y superpuesto sobre la Ortofoto PNOA de 2012.....	26
Ilustración 21. Esquema del proceso de extracción de marcos en las imágenes de 1939.	27
Ilustración 22. Extracción de marcos en imagen de 1946.....	28
Ilustración 23. Ejemplo de rectificación del brillo y contraste en el 1984.	28
Ilustración 24. Ejemplo operación de mosaicado.	29
Ilustración 25. Ejemplo de urbano consolidado (PNOA 2012).....	30
Ilustración 26. Ejemplo de urbano débil o disperso (1927).	30
Ilustración 27. Ejemplo de zona verde (1945).....	31
Ilustración 28. Ejemplo de urbano en construcción o sin edificar (1984).....	31
Ilustración 29. Ejemplo de inconsistencia geométrica (Torrero en 1965).	33
Ilustración 30. Foto-clasificación regadío - vegetación natural/secano.	33
Ilustración 31. Imagen MSS (1972), izda. Ilustración 32. Imagen TM (1990), dcha. Fuente: USGS.....	35
Ilustración 33. Imagen ETM+ (199), izda. Ilustración 34. Imagen OLI (2013), dcha. Fuente: USGS.....	35
Ilustración 35. Ejemplo de recorte mediante “Subset” (1984).	36
Ilustración 36. Corrección atmosférica de la banda 1 de la imagen de 2010.	37
Ilustración 37. Signaturas espectrales de diferentes cubiertas. Fuente: Google Images.	38
Ilustración 38. Formulación del NDVI. Fuente: Google Images.	38
Ilustración 39. Esquemmatización del cálculo del NDVI mediante DIMPLE 3.0.....	39
Ilustración 40. Proceso de recorte del NDVI para el área urbana.....	39
Ilustración 41. Umbrales de NDVI para varios años y ejemplo de la Plaza de Los Sitios en 1984 y 2012 (izda. y dcha., respectivamente).	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución demográfica en Zaragoza (1900-2011). Fuente: IAEST.....	3
Tabla 2. Documentos fotográficos utilizados en el trabajo.....	13
Tabla 3. Ejemplo de tabla de salida de puntos de control.	23
Tabla 4. Imágenes Landsat utilizadas.	34

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, Zaragoza es la quinta ciudad con más habitantes del territorio español y su área metropolitana se encuentra en el octavo puesto (de Miguel González, 2013). El gran “boom” urbanístico de Zaragoza lo podemos localizar en la segunda mitad del Siglo XX, coincidiendo con el éxodo rural y la creación de los Polos de Desarrollo franquistas.

Sin embargo, el urbanismo zaragozano actual es el reflejo de su historia milenaria, con la sucesión y convivencia de diversas culturas, que se refleja a través de la superposición de distintas realidades en su fisonomía y que la dotan de características propias (Yeste, 1993). Así pues, en Zaragoza, podemos observar la “rectilínea” ciudad romana, las zonas medievales y árabes, los ensanches y transformaciones del siglo XIX y comienzos del XX, y el desarrollo de hitos urbanos durante los siglos XX y XXI, como la urbanización de los barrios periféricos, la deslocalización industrial, la creación de zonas verdes, la supresión de zonas de cultivo del interior de la ciudad o el segundo “boom urbanístico” de finales de siglo XX y comienzos del XXI, que convierte a Zaragoza en lo que actualmente es.

La expansión moderna de las ciudades, así como los procesos que en estos entes intervienen, se puede estudiar, medir, analizar y conocer mediante estadísticas, datos, archivos, documentación, planes urbanísticos, etc. Otro método, complementario a los anteriores, pueden ser el uso y análisis de imágenes aéreas, fotoplanos, ortofotos o imágenes satelitales. Usando este método y aplicando los SIG, podemos llevar a cabo un análisis estadístico-espacial del proceso.

Por otra parte, el desarrollo urbano trae consigo efectos negativos, tanto sociales como ambientales. Uno de los efectos adversos es que el incremento de la ciudad consolidada trae consigo una impermeabilización del suelo debido a la pavimentación, construcción de viviendas, pérdida de vegetación... Esto provoca un incremento del volumen y la velocidad de escorrentía (Gutiérrez, 2000), que puede conllevar inundaciones y disminuye drásticamente la infiltración del agua hacia el acuífero. A su vez, la menor infiltración de agua al suelo unido a la creación de zonas subterráneas como garajes puede conllevar un riesgo para la integridad material y humana de los mismos. La fiebre inmobiliaria española de finales del siglo XX y principios del XXI ha hecho descuidar la probabilidad de que el medio natural irrumpa sobre el humano, lo que provoca la asunción de riesgos innecesarios.

Por ello, resulta interesante un análisis integrado del crecimiento de la ciudad con el uso de las herramientas TIG, teniendo en cuenta no solo el crecimiento espacial, sino también la transformación de los usos del suelo urbano, así como observar una relación entre la expansión urbana de Zaragoza, la modificación espacial y cualitativa de las áreas verdes o la relación que la impermeabilización del suelo puede tener en la modificación de los niveles hídricos del acuífero de Zaragoza en el transcurso del siglo XX.

El presente trabajo se centra en el análisis de la evolución urbana de la ciudad de Zaragoza con la fotointerpretación de imágenes aéreas históricas, que previamente han sido tratadas y georreferenciadas, y el tratamiento digital de imágenes de satélite, lo que ha

posibilitado el análisis multitemporal; el análisis en entorno SIG permite mostrar numéricamente diferentes cambios en la realidad urbana de la ciudad.

2 OBJETIVOS DEL TRABAJO

Este trabajo persigue dos objetivos principales:

- El análisis espacio-temporal de la expansión urbana de Zaragoza desde 1927. Este objetivo se llevará a cabo mediante el análisis de imágenes aéreas, fotogramas y ortofotos comprendidas entre el año 1927 y 2012.
- El análisis de la presencia de cubierta vegetal en Zaragoza desde 1972 hasta 2012, abordado mediante imágenes de satélite.

Para la consecución de estos objetivos principales se abordan otros de carácter secundario, acordes con el proceso metodológico que se va a llevar a cabo en el trabajo:

- Fotointerpretar y cartografiar la expansión urbana de la ciudad de Zaragoza mediante el análisis visual asistido con ordenador de documentos fotográficos aéreos.
- Realizar un análisis estadístico, basado en entorno SIG, de la evolución urbana.
- Cuantificar la evolución de la cubierta vegetal existente en la ciudad a partir del tratamiento digital de imágenes Landsat mediante la generación de neo-canales, singularmente el índice de vegetación de diferencia normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI).
- Interpretar los resultados obtenidos a partir de la revisión bibliográfica de documentos relativos a las políticas urbanísticas de la ciudad.

3 ÁREA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio en el que se centra el trabajo es la ciudad de Zaragoza. Situada en la Depresión del Ebro, se asienta sobre un relieve llano, propio de valles fluviales amplios. Geomorfológicamente, nos encontramos en terrazas fluviales holocenas de diferentes edades y también diferentes ríos (el Gállego al norte, el Huerva al sur y el Ebro cruzando de oeste a este la capital aragonesa). Además, en los extremos norte y sur del área de estudio encontramos relieves horizontales yesíferos, que se ven modelados por la erosión hídrica, conformando pequeños barrancos que desembocan en el fondo del Valle.

Un aspecto a tener en cuenta es que nuestro objeto de estudio es un ente cambiante y que evoluciona en tamaño con el paso del tiempo. Por lo tanto, hay que tener en cuenta el fenómeno de expansión urbana, el cual conllevará un cambio en el perímetro exacto del área de estudio, que se verá modificado en función de la escala temporal.

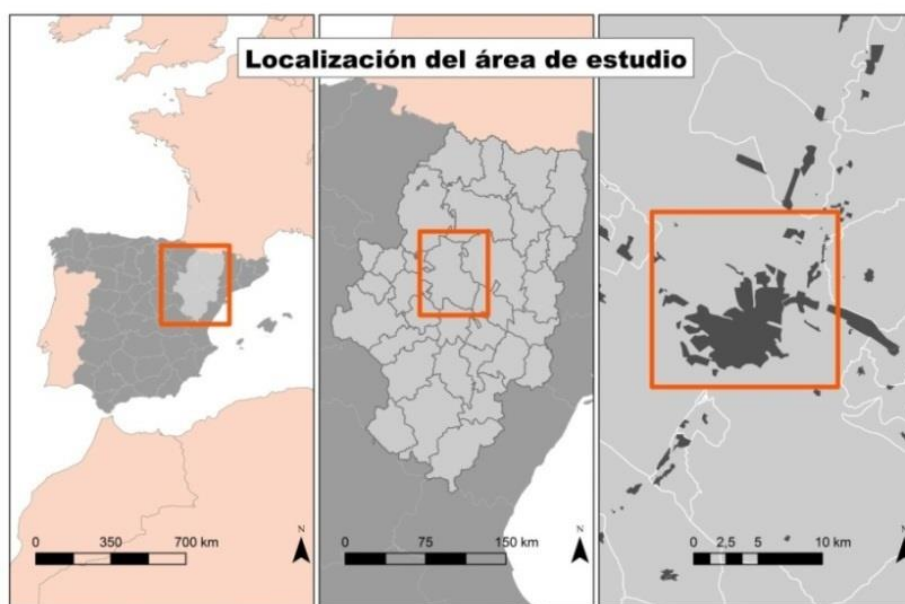


Figura 1. Mapa de localización de la ciudad de Zaragoza.

3.2 EVOLUCIÓN URBANA DE ZARAGOZA (1900-ACTUALIDAD)

La evolución urbana de Zaragoza está relacionada, como no podía ser de otra manera, con la población que en ella habita. La situación estratégica de Zaragoza fue un factor fundamental para su crecimiento en los Siglos XX y XXI (de Miguel González, 2013).

Tabla 1. Evolución demográfica en Zaragoza (1900-2011). Fuente: IAEST.

1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1981	1991	2001	2011
98.397	109.957	138.617	160.179	202.948	241.867	301.655	467.223	569.830	592.548	612.472	678.115

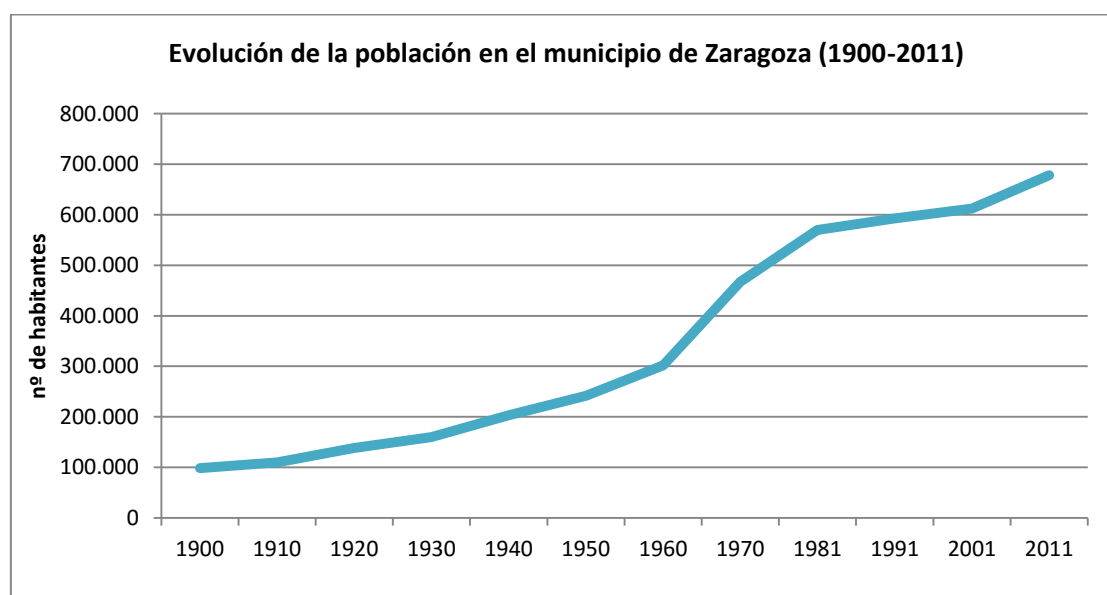


Figura 2. Evolución demográfica de Zaragoza (1900-2011). Fuente: IAEST.

A partir de la bibliografía consultada, se ha abordado la explicación sucinta de las fases de crecimiento de la ciudad. En esta cronología se ha detallado la urbanización desde principios de Siglo XX. La descripción de la evolución urbana que se presenta seguidamente se ha articulado atendiendo a situaciones, eventos, planes urbanísticos u otros hechos que explican el crecimiento de la ciudad. Este proceso se ha agrupado en fases más o menos homogéneas, con características sociopolíticas parecidas, como pueda ser un contexto de crisis o la aplicación durante un largo tiempo de una determinada política urbanística asociada a alguna ideología política particular.

Como es bien conocido, la evolución del plano urbano de Zaragoza comienza hace más de 2000 años, iniciándose un largo proceso de modelado del plano de la ciudad. Es difícil realizar una aproximación completa a la realidad urbana de manera global y total, ya que la amplitud temática es inmensa, tanto en los temas relacionados con la evolución urbana (más de 2000 años a abarcar), como en el por qué socioeconómico de la misma, con el volumen de la población existente. Respecto al tema del trabajo, nos interesa tratar especialmente determinadas etapas (Adiego *et al.*, 1984).

a) 1900-1939:

Los comienzos de Siglo XX vienen marcados por la industrialización, evento que produce un incremento de población, en donde la ciudad se aproxima a los 100.000 habitantes. Este crecimiento hace que aumenten las construcciones habitacionales en torno a las industrias y las vías de acceso a la ciudad consolidada. Esto provoca un desorden urbanístico, que se intenta paliar con los ensanches (Marco *et al.*, 2009).



Ilustración 1. Convivencia de industria y residencia. Fuente: CHE (1927).

El problema viene dado cuando el ensanche es de tipo burgués, ya que no garantiza la inclusión en estos ensanches de la clase trabajadora. Así pues, en esta época, la zona que sustenta un mayor crecimiento es el Barrio de Jesús, debido a la industrialización de la margen izquierda y la apertura del Puente del Pilar (1895). Otras zonas que crecen de manera significativa son el Barrio de Delicias, que cuenta con las industrias cercanas a la estación del Portillo, el Barrio de Miguel Servet (San José), en donde la confluencia del Matadero, la carretera de Castellón y la estación de Utrillas crea otro foco de atracción (Adiego *et al.*, 1984).

En resumen, en las primeras décadas del siglo XX, aparte de la creación de los ensanches, el crecimiento urbano se crea a partir de las estaciones de ferrocarril, las industrias y las vías de comunicación.



Ilustración 2. Barrio de Delicias. Fuente: CHE (1927).

Lo más llamativo fue la ausencia efectiva de un Plan General de Ensanche y Reforma, aunque se intentó realizar. Esta falta de planificación hizo que las nuevas edificaciones fueran parcelas y fincas. Hasta mediados de los años 20, solo hubo algún pequeño plan parcial para el centro y sus proximidades, pero no para las nuevas edificaciones, por lo que éstas no contaban con dotaciones de servicios como pavimentación, alcantarillado o luz. La red de tranvías realizada en 1908 fue otro elemento fundamental para comunicar barrios y para centrar las pautas de crecimiento de los núcleos periféricos (Adiego *et al.*, 1984).

A la vez que se produjo esta evolución periurbana, la ciudad se extendió hacia el sur. A partir del Estatuto Municipal aprobado por el gobierno de Primo de Rivera, que obligó a la redacción de un proyecto de urbanización. Este fue el Plan de Ensanche de 1925, que junto al cubrimiento del río Huerva, sentó las bases de la expansión urbana de los años siguientes. Por encima del Huerva transcurrirá la Gran Vía¹. Al quebrar la empresa privada, en 1928 entra en juego la intervención pública en el mercado urbanístico, marcando unas nuevas directrices. Así, por ejemplo, a cada lado de Gran Vía, se reservaron dos zonas de 50 m destinadas a unas futuras viviendas, a la vez que el resto de zona urbanizable, tenían que ser casas económicas. El mayor ejemplo de urbanización fue la construcción del eje oriental de Gran Vía hasta el Parque “Grande”, así como la zona comprendida entre la Estación del Portillo y el Huerva. También quedó por completar la zona de Sagasta hasta Ruiseñores. Así pues, los flancos de Gran Vía, se destinaron a edificios más altos, de mayor calidad, para la población más pudiente, mientras que, más alejados, se encontraban edificios más pequeños, incluso familiares, para las clases de menor nivel adquisitivo. Este ritmo de construcción se paró al inicio de los años 30, con la llegada del *crack* del 29 y, posteriormente, la Guerra Civil Española (Yeste *et al.*, 2006).

¹ Nótese que, para las referencias a la toponimia urbana incluidas en este texto, se ha optado por incluir la denominación actual, con el objetivo de facilitar la lectura al lector.

En 1933 Hacienda concedió beneficios económicos a la Ley de Ensanche de 1892. Se planifica el crecimiento en dos “sub-ensanches”: Miraflores (zona sureste de la ciudad) y Miralbueno (Delicias, Gran Vía y Parque Pignatelli). Cada ensanche tiene 2 etapas, la primera de carácter inmediato y la segunda a medio-largo plazo. En la primera etapa, en la zona de Miralbueno fue la Gran Vía la que hacía de eje vertebrador y, en el segundo de los casos, el Paseo de la Constitución. En estos años se propuso la creación de una nueva Universidad, puesto que la Facultad de Medicina y Ciencias se estaba quedando pequeña ante una mayor demanda. Se barajaron diferentes lugares, pero al final la amplitud de espacio que había en torno a la Plaza de San Francisco y su bajo coste por estar en un lugar de “casas baratas” hizo que se construyera allí. La primera edificación fue la Facultad de Filosofía y Letras, en 1935; ya concluida la guerra y los primeros años de posguerra, la siguiente en erigirse fue la de Derecho, en 1945, siguiéndole el Colegio Mayor Pedro Cerbuna y la Facultad de Ciencias. La Universidad supuso un foco de atracción a la creación de nueva edificación en sus alrededores y al sur de la ciudad (Yeste *et al.*, 2006).



Ilustración 3. Facultades de Filosofía y Derecho, 1947. Fuente: CNIG.

De manera coetánea a la realización del plan de ensanche del 34, se propuso la construcción de quinientas casas baratas para las clases más desfavorecidas. Surgía así la Ciudad Jardín, viviendas unifamiliares de carácter mínimo, todas ellas con un pequeño jardín. Este barrio no necesitó de dotación de servicios (colegios, consultorios...), puesto que las necesidades se cubrían con la cercanía de Delicias. Al principio, las calles se dejaron sin asfaltar, por lo que se anegaban con la lluvia. El crecimiento interno de la ciudad antigua correspondió a la reforma interior de la misma. Sin embargo hay dos proyectos trascendentales: la prolongación de Independencia y la apertura de San Vicente de Paúl (Plan de Reforma interior de Borobio de 1939) (Marco *et al.*, 2009).

b) 1939 – 1960:

Tras la Guerra Civil, a principios de los años 40, Zaragoza alberga 238.000 personas y la afluencia de emigrantes continua subiendo, alcanzando los 326.000 en 1960. Eso sí, el ritmo de construcción se mantiene lento como consecuencia de la feroz posguerra. En esta época se asientan las bases conceptuales que culminan con la Ley de suelo de 1957 y la creación del Ministerio de Vivienda (Marco *et al.*, 2009). Por esta razón, la mayoría de las personas que se asientan en la ciudad se localizan en espacios ya construidos. La poca construcción existente se centra en reconstruir los daños de la Guerra; por lo tanto, los espacios periféricos no tienen un

gran crecimiento hasta la creación del Polo de Desarrollo. Entre los años 40 y 60, las principales modificaciones de la ciudad son reformas interiores como la finalización de la calle San Vicente de Paúl. Sin embargo, también se desarrolla en gran medida el eje Gran Vía o equipamientos como la Feria de Muestras, la Casa Grande o el Estadio de La Romareda, así como la continuación de la ya iniciada Ciudad Universitaria. Con la creación del Ministerio de Vivienda y los Planes Sindicales Franquistas de Casas Baratas, se crean actuaciones para intentar paliar el gran aluvión de población que recibía la ciudad por el éxodo rural. Entre estos planes encontramos el Grupo Girón, Grupo Largo Caballero, Balsas de Ebro Viejo y Picarral o viviendas militares. Los Planes Urbanísticos desarrollados en esta época se basan en Planes de Reforma Interior (Regino Borobio, año 1943) y el PGOU de 1959 de José Yarza (Yeste *et al.*, 2006).

c) 1960 – 1986:

Dentro de esta etapa, podríamos destacar dos periodos muy diferenciados: el denominado desarrollismo y los primeros años de Democracia. En esta época, el censo urbano crece de 326.000 a 520.000 habitantes. La apertura internacional del régimen franquista hace posible la creación de los Polos de Desarrollo, entre los que está incluida la ciudad de Zaragoza en el primero de ellos, en 1964. Esto implica la creación de los polígonos industriales para la instalación de industrias (con beneficios fiscales y financieros). Esta iniciativa estuvo vigente en Zaragoza por 6 años, en los que el empleo industrial ascendió en torno al 13% (Germán, 2009).



Ilustración 4. Las Fuentes en 1965. Fuente: Ayto. de Zaragoza.

Así pues, Zaragoza deja de ser una ciudad en donde no había predominancia de ningún sector a una ciudad con un gran peso industrial. Este hecho, junto al desarrollo del transporte, sobre todo el público, da el empujón a los barrios periféricos. Pero esto sigue haciéndose de manera caótica y anárquica; sin dotación de servicios, las casas se construyen de manera espontánea en torno a las grandes avenidas aún despobladas. A su vez, la población que vivía en la ciudad histórica, va abandonando paulatinamente este lugar por las incomodidades y la masificación provocada por el aluvión de inmigrantes, dando lugar a la migración burguesa hacia los ensanches de Miraflores y Miralbueno, así como al Paseo Independencia. Así pues,

aparte del crecimiento de las zonas de ensanche burgués creadas a partir del Plan de Ensanche de 1925, empiezan a crecer fuertemente Delicias, Las Fuentes, la Química (Almozara), San José, la Margen Izquierda, Torrero, Oliver o Valdefierro, configurándose así gran parte de la ciudad actual (Adiego *et al.*, 1984).

En términos de vivienda el rol que el Gobierno había ejercido en el periodo anterior fue trasladado a los particulares. Una época en la que la ciudad adquiere un desarrollo descomunal y desarticulado, provocando un espacio urbano poco controlado, no cualificado e irreversible. Constituye el denominado desarrollismo (Marco *et al.*, 2009).

Otro aspecto a considerar es que la ciudad, a partir de los años 60, no solo crece en superficie, sino que también lo hace en altura. Son los años en los que se reconvierten y consolidan barrios como Delicias o Torrero, que hasta entonces tenían un carácter de chalets con parcelas o ajardinados en bloques de varias plantas. Otras infraestructuras realizadas en la época son el cubrimiento de las vías de tren en las Avenidas de Goya y Tenor Fleta (1962), así como la construcción del Puente de Santiago (1967).



Ilustración 5. Barrio de Delicias consolidado (1965). Fuente: Ayto. de Zaragoza.

En 1968 nace un Plan General de Ordenación Urbana, cuyo autor fue Emilio Larrodera. Este plan viene encaminado a intentar solventar problemas causados por la expansión de la ciudad de manera anárquica. Tal y como señala Adiego *et al.* (1984), los objetivos del plan los podríamos englobar en dos de carácter básico:

- Unificar con criterio racionalista las expansiones que se habían ido creando de manera caótica e integrar los barrios del extrarradio, así como los usos del suelo.
- El desarrollo concéntrico de la ciudad se da por finalizado: procede la creación de nuevos asentamientos independientes del central: la nueva Ronda exterior (Malpica, La Cartuja y Casetas).

Así pues, la aprobación del plan general supone un intento de conectar, ordenar y legalizar los barrios que habían ido creciendo 40 años atrás (desde las décadas de los 20-30).

Como afirma Elvira Adiego: *“La zonificación de la ciudad se inspira por completo y de acuerdo con los criterios desarrollistas y organicistas reinantes en la época, en un ordenamiento de los usos del suelo siguiendo la distribución, de las tres funciones fundamentales de la vida urbana: HABITAR, TRABAJAR Y VIDA EN RELACIÓN, entonces concebidas casi como comportamientos estancos e incompatibles entre sí”* (Adiego et al., 1984). Por esto, la ciudad tradicional se calificó como residencial, al igual que sus ensanches, mientras que el extrarradio se mantuvo como industrial (carreteras radiales y el Arrabal). Cabe destacar que el plan de 1968 ya calificaba como residencial también el ACTUR, todavía sin planificar.

La segunda etapa de esta época la podemos denominar como la “Etapa Postfranquista” de la ciudad (1975-86). Viene marcada por la crisis del petróleo de 1973 y todo lo que supuso a una ciudad industrial como Zaragoza, teniendo en cuenta que la crisis lleva detrás la etapa de reconversión industrial. Ante el vacío de políticas urbanísticas que trae la muerte de Franco y el cambio de régimen, esto se contrarresta con *“el movimiento ciudadano, disciplinar y profesional que demandaba una nueva forma de entender la ciudad, los procesos urbanos y el planeamiento”* (Marco et al., 2009).

Esta época viene marcada por la redacción de la Ley del suelo de 1975 y concluye con el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de 1986 dirigido por Manuel Ramos. Este segundo periodo, particularmente en Zaragoza, está afectado por la herencia que deja el desarrollismo de los años 60. Estos años sientan una importante carga demográfica y de estructura urbana. La intervención estatal y los planes focalizan las bases para el crecimiento en la Margen Izquierda, que se dará con la construcción del ACTUR. Pero este proceso también trae consigo aspectos negativos, como la baja calidad de la urbanización, la alta aglomeración de edificios en algunos barrios, falta de espacios públicos, estacionamientos...



Ilustración 6. ACTUR y Zalfonada en construcción (1985). Fuente: Ayto. de Zaragoza.

Como se ha nombrado antes, uno de los hitos más importantes dentro de esta etapa es la Actuación Urgente de Puente Santiago (ACTUR). A partir de una ley de 1970, se programan 8 actuaciones urgentes a lo largo de la geografía española, entre ellas la de Zaragoza. El Actur, *“siguiendo el concepto de los antiguos polígonos de viviendas del Ministerio”* (Marco et al., 2009), tiene sin embargo dos peculiaridades; su gran tamaño y la inclusión dentro del barrio de

áreas comerciales y actividades terciarias, que le dotan de autosuficiencia, convirtiendo el barrio en una “microciudad” dentro de Zaragoza. Pero lo importante del ACTUR es lo que trajo consigo: una contribución decisiva a que la ciudad finalmente saltase de orilla.

En 1982 se crea la Gerencia de Urbanismo y el Ayuntamiento de Zaragoza adquiere mayor peso en las decisiones que se toman, traduciéndolas en hechos como el Avance del Plan General, medidas urgentes y preventivas que intentan frenar procesos negativos, medidas en política de suelo que se plasmaban en la compra de suelo privado para la creación de zonas públicas (Antigua Feria de Muestras, el solar donde se edifica el Pabellón Príncipe Felipe, la antigua Gravera de la Paz, ahora convertida en el Parque Oliver, etc.).

Como colofón a este periodo, cabe destacar el PGOU de 1986 de Manuel Ramos, en el que el planteamiento básico es el crecimiento ordenado de los barrios exteriores a la vez que se llevan a cabo medidas para la recuperación del Casco Antiguo (Marco *et al.*, 2009). Es en este plan donde se aborda la cuestión metropolitana, basándose en el Plan Metropolitano de Barcelona.

d) 1986-2008:

El periodo democrático empieza con el PGOU de 1986. Podemos dividir esta etapa en dos “sub-periodos”, uno hasta principio de Siglo XXI y el siguiente hasta la Expo 2008. El Plan General de Manuel Ramos supone el despegue de la ciudad, en donde, como se ha dicho anteriormente, se plantea un crecimiento ordenado de la periferia (Marco *et al.*, 2009). Sin embargo, este despegue viene acompañado también de la especulación urbanística, gestada a principios de los años 90. En estos años la población da un salto de 580.000 a 660.000 habitantes.

En los 15 años de vigencia del PGOU de 1986, se aprobaron 10 planes parciales para zonas residenciales. Entre el suelo urbanizable (y urbanizado) caben destacar varias actuaciones, como la primera fase de Parque Goya, Santa Isabel, Villamayor, la zona de la Estación del Norte, hasta entonces fábricas en desuso a partir de los años 80 debido a la reconversión industrial, Miralbueno o Montecanal. La construcción de infraestructuras como centros comerciales (Pryca, C.C Augusta Grancasa, Alcampo-Utrillas...), la nueva Feria de Muestras, puentes, el Auditorio o la Sala Multiusos marcan también gran parte de esta etapa.

La segunda parte de este periodo comienza con el cambio de milenio. En 2001 se aprueba una revisión del Plan General de 1986, ya que se preveía un aumento de población que no se dio, por lo que el número de nuevas viviendas era mayor que el requerido por los nuevos habitantes, lo que provocó una tasa considerable de pisos vacíos (Marco *et al.*, 2009). Desde mediados de los 90, se plantean una serie de proyectos a gran escala como PLA-ZA, la Estación Delicias, la ordenación del Meandro de Ranillas o una gran cantidad de centros comerciales, que intentarán darle un papel internacional a la ciudad. Destacan también la creación del Tercer y del Cuarto Cinturón, que cambiarán en gran medida los flujos de desplazamientos en una gran parte de la ciudad (Marco *et al.*, 2009).

En cuanto a la creación de vivienda, al igual que en toda España, se dispara con la burbuja de ladrillo. Para la construcción de las edificaciones, además del PGOU de 2001, se realizan

planes parciales; los de mayor calado son los de Parque Goya 1 y 2, Montes del Canal, Valdespartera y el aún semidesértico Arcosur.



Ilustración 7. Montecanal en construcción (1997). Fuente: SIG Oleícola.

Otro elemento a destacar es la creación de espacios verdes que crecen en extensión y número, convirtiendo a Zaragoza en una ciudad con buena accesibilidad y cantidad de áreas verdes por habitante. La densidad bruta es de 7,21 habitantes por hectárea (hab/ha) y la densidad neta sobre el suelo urbano es de 151,46 hab/ha (Ayuntamiento de Zaragoza), situándonos entre las ciudades con mayor número y extensión de zonas verdes en España. Hasta la Expo -y con motivo de ella- los “proyectos verdes” de mayor importancia son la recuperación de las riberas del Ebro, el Parque del Agua o el Anillo Verde.

Tampoco se detiene la creación de grandes centros comerciales, que atraen población a los barrios donde se crean, así como cambios en los flujos de actividad. Cabe destacar Grancasa, Puerto Cinegia, Plaza Imperial, Puerto Venecia o Aragonia, lo que provoca que Zaragoza sea la ciudad de España con mayor superficie comercial por habitante (Marco *et al.*, 2009).

Como fin de ciclo nos encontramos con la Exposición Internacional de Zaragoza 2008, que regeneró la ciudad, convirtiéndola en una ciudad del Siglo XXI, con grandes infraestructuras, aunque ello supusiera un gran presupuesto que aún está pendiente de pagar. El problema viene en la coincidencia del inicio de la actual recesión económica con el gran desembolso que supuso este hito, ya que muchos de los planes futuros que se tenían con el espacio de Ranillas, en donde se ubicó el recinto, se fueron a pique. Esto supone una depreciación de las grandes infraestructuras, las cuales, como el Pabellón Puente o la Torre del Agua, están en un continuo desuso, exceptuando contadas ocasiones en las que se realiza algún evento.

En estos últimos años y hasta la actualidad, en un contexto de crisis a todas las escalas geográficas, cabe destacar en el planeamiento urbano de la ciudad el proyecto de Milla Digital (Barrio del AVE). Esta zona es resultado de un plan llevado a cabo en 2006 por el Ayuntamiento de Zaragoza, en colaboración con el MIT entre otras instituciones. Se pretendió hacer de esta zona vacía un lugar puntero de la ciudad, que tuviera un atractivo turístico y empresarial, así

como una cantidad de Bienes Inmuebles de primera tecnología, basándose en el principio de “smart-city” (Frenchman y Mitchell, 2006). Dentro de Milla Digital, podemos destacar diferentes equipamientos ya operativos como la Estación Delicias, Etopía, CIEM, el Centro de Salud “Almozara” o el recién inaugurado “CaixaForum Zaragoza”.



Ilustración 8. Recinto Expo, Estación Delicias y Milla Digital (2012). Fuente: PNOA.

4 METODOLOGÍA

Para la consecución de los objetivos expuestos en el trabajo, se procederá mediante la realización de un proceso metodológico que se puede dividir en dos partes: la primera será la fotointerpretación de la expansión urbana de Zaragoza, a partir de una serie de fotografías aéreas de diversa procedencia; la segunda abarcará el análisis de la presencia de cubierta vegetal en Zaragoza mediante imágenes Landsat, que a tal efecto serán tratadas digitalmente para la generación de índices de vegetación.

Las dos partes de este proceso metodológico se verán apoyadas en la base bibliográfica expuesta en el apartado anterior y que detalla los hitos importantes del planeamiento urbano, políticas y otras causas del crecimiento de nuestra urbe de estudio.

4.1 FOTOINTERPRETACIÓN DE LA EXPANSIÓN URBANA DE ZARAGOZA

Esta fase de la metodología engloba a todos los procesos que han sido realizados para la fotointerpretación de las fotografías aéreas utilizadas con el fin de analizar posteriormente la expansión urbana de la ciudad. Para ello, en primer lugar se presentarán todas ellas, a continuación se abordará el tratamiento de las mismas para su georreferenciación, la eliminación del ruido a las mismas (marcos, etc.) y la necesaria homogeneización de brillo y contraste. Por último se considerará la fase previa a la fotointerpretación final: la foto-clasificación de las imágenes mediante la definición de diferentes clases, que se detallarán más adelante.

4.1.1 Fotografías aéreas utilizadas

Gran parte del grueso del trabajo se basa en la utilización de archivos fotográficos aéreos. En primer lugar, cabe destacar que se han utilizado varios tipos de documentos fotográficos: fotoplanos, ortofotos, fotografías aéreas y fotogramas de pares estereoscópicos.

Tabla 2. Documentos fotográficos utilizados en el trabajo

Año	Fuente	Nº de imágenes (sectores usados)	Tipo
1927	CHE	1	Fotoplano
1939	Gerencia de Urbanismo (Ayto de Zgz)	6	Foto aérea
1944	CNIG Vuelo americano	19	Foto aérea
1965	Gerencia de Urbanismo (Ayto de Zgz)	7	Foto aérea
1984	Gerencia de Urbanismo (Ayto de Zgz)	13	Foto aérea
1997	SIG Oleícola	4	Ortofoto
2012	PNOA	4	Ortofoto

Como se puede observar en la tabla 2, hay algunas imágenes que se han obtenido de la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Zaragoza, concretamente las correspondientes a los años 1939, 1965 y 1984; se trata de fotografías que, positivadas en formato cuadro de gran tamaño (Din A0 o superior), se encuentran en la Gerencia. Estas fotografías, prácticamente desconocidas por no estar localizados los negativos, fueron trasladadas hasta la Universidad de Zaragoza con autorización del Ayuntamiento, donde fueron fotografiadas por el Dr. de la Riva y digitalizadas para su posterior tratamiento y análisis digital. Las imágenes utilizadas en este trabajo se muestran en las Ilustraciones 10 a 17.

La peculiar procedencia de las imágenes procedentes de la Gerencia de Urbanismo, hace que el estudio tenga un interesante enfoque, ya que son fotografías enmarcadas en pared que se han escaneado y digitalizado, constituyendo, casi con toda probabilidad, unas fuentes de información desconocidas, desde luego poco utilizadas. Pero, a su vez, esta procedencia genera una serie de problemáticas. Una de ellas es el desconocimiento de características de la imagen, como el día y hora de vuelo o el sensor y avión utilizados. Además, alguna de ellas tiene una mala resolución espacial en su positivado en papel. Otro problema radica en que algunas de las imágenes, son uniones de diferentes imágenes que se ensamblaron por contacto directo, presentando serios problemas de coherencia espacial (véase a continuación, en la Ilustración 9).



Ilustración 9. Segmento mal unido de dos imágenes aéreas de 1939.



C.E.T.F.A.

$$E = \frac{1}{10000}$$



Ilustración 10. Fotoplano de Zaragoza, 1927. Fuente: CHE.

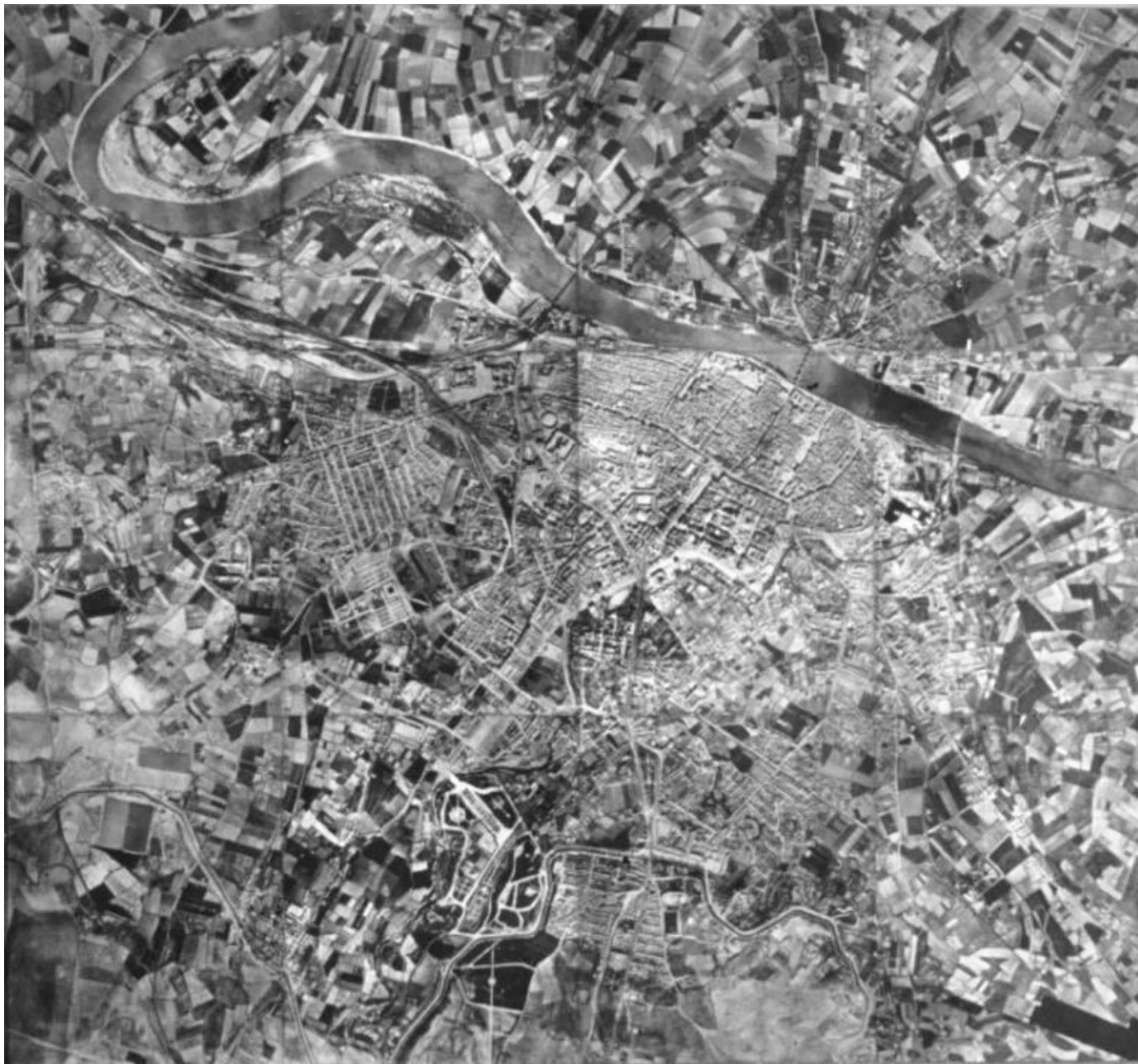


Ilustración 11. Vuelo fotogramétrico de Zaragoza, 1939. Fuente: Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Zaragoza



Ilustración 12. Vuelo americano de 1946 sobre Zaragoza. Fuente: CNIG.

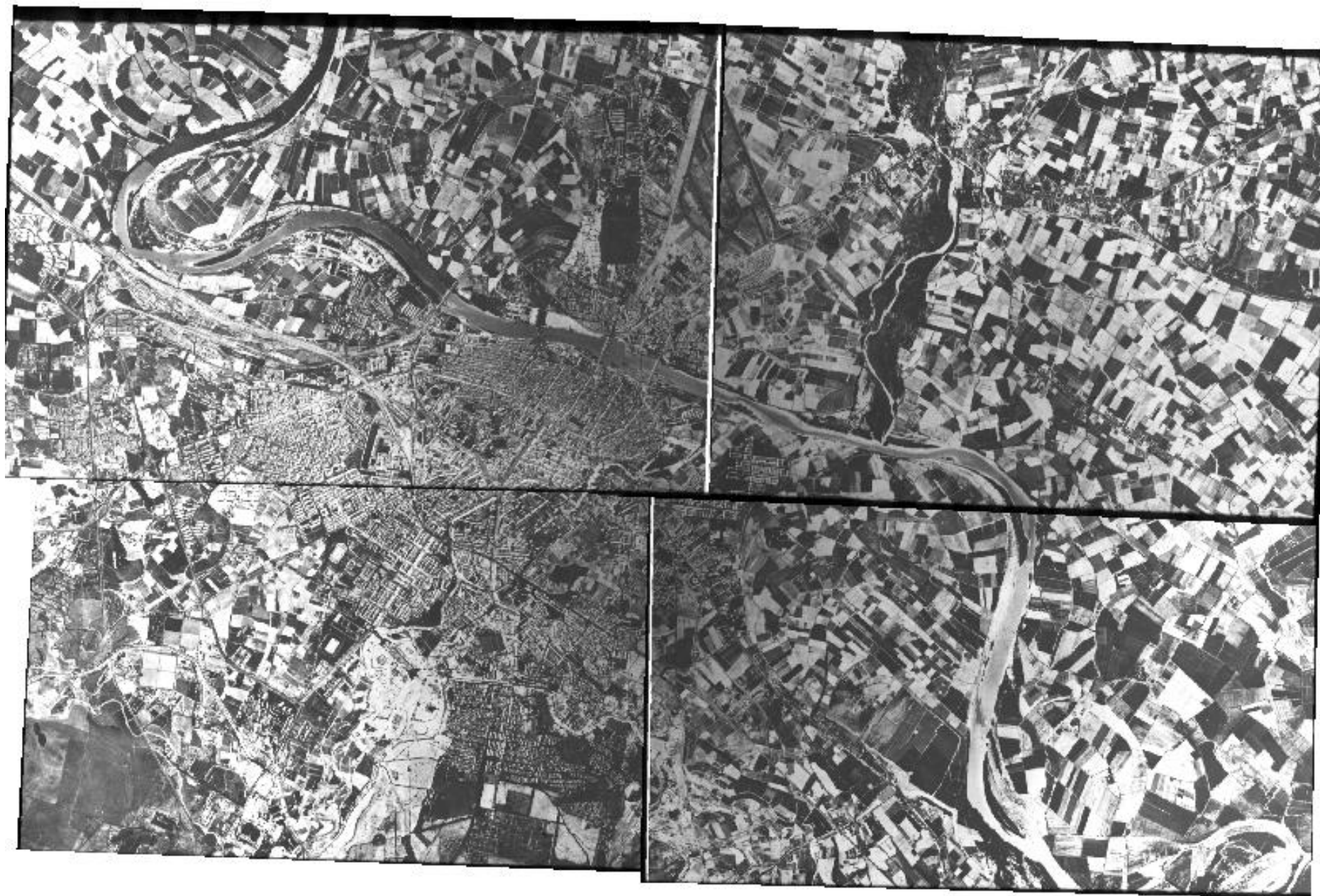


Ilustración 13. Vuelo fotogramétrico de Zaragoza, 1965. Fuente: Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Zaragoza.



Ilustración 14. Imagen fotogramétrica de Zaragoza, 1984. Fuente: Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Zaragoza.



Ilustración 15. Ortofoto del SIG Oleícola, 1997. Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.



Ilustración 16. Ortofoto PNOA 2012. Fuente: CNIG.



Ilustración 17. Imágenes digitalizadas de 1950 (izda.) y 1988 (dcha.). Fuente: Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Zaragoza.

En función de ello, para el presente trabajo, se descartaron los documentos fotográficos de los años 1950 y 1988, dado que su deficiente resolución espacial comprometía una georreferenciación y posterior fotointerpretación que no contuviera errores.

4.1.2 Georreferenciación de las fotografías aéreas

Una vez obtenidas todas las imágenes y desechadas las que no eran válidas, es paso obligado el corregir las distorsiones que en ellas podemos encontrar fruto de varias razones, a la par que realizar una georreferenciación de las mismas para poder hacer un análisis multitemporal detallado en entorno SIG. Como bien es sabido, el proceso de corrección geométrica de las imágenes es un tema fundamental en el transcurso de este trabajo para que los cambios urbanos sean verazmente atribuibles (Chuvieco, 2000).

Las correcciones geométricas comportan el cambio de la posición de los píxeles de la imagen y su traslación a un nuevo sistema de coordenadas mediante la generación de una nueva imagen digital. Estas transformaciones sirven para corregir cartográficamente la imagen “buscando relaciones que transfieran los ND de la imagen a su posición cartográfica, en la proyección requerida” (Chuvieco, 2000). Hay dos métodos de corrección geométrica: La corrección a partir de modelos orbitales o a partir de puntos de control; en este trabajo, como es lógico, se ha utilizado la segunda opción. Este método empírico se basa en la toma de una serie de puntos en la imagen de los que se conocen las coordenadas. En nuestro caso, hemos buscado que fueran puntos representativos en todas las fechas, ya que la evolución de la ciudad hace que esta sea un ente cambiante y dinámico. A estos puntos de control se ajustan unas ecuaciones a partir de la relación de coordenadas imagen-coordenadas de referencia (Chuvieco, 2000). En nuestro caso se ha tomado como imagen de referencia la Ortofoto del PNOA de 2012, asumiendo que está corregida y georreferenciada perfectamente. Este proceso conlleva 3 fases:

- Fase 1: Establecer puntos de control:

En ella, se localizan y establecen puntos comunes entre la imagen a corregir y la de referencia (PNOA 2012). También hay que tener en cuenta que estos puntos estén localizados de manera oportuna para que sean representativos de la deformación de la imagen en función de su captura mediante plataformas aéreas, con ángulo focal que genera mayor distorsión en los extremos. Como señala Chuvieco (2000), *“es la fase más crucial y la que demanda mayor dedicación humana”*. Hay que tener en cuenta 3 aspectos en la selección de los puntos de control para que esta fase se realice de manera correcta:

- El número de puntos de control, que depende del tamaño del área de estudio y la orografía. En nuestro caso se trata de un área relativamente pequeña y con un relieve más o menos llano, por lo que podría servir un número reducido de puntos, aplicándoles ecuaciones lineales. Ahora bien, siempre es más recomendable identificar un número de puntos de control por exceso para que la georreferenciación no se vea afectada globalmente por puntos aislados de error medio o alto.
- La localización de los puntos de control, que deberá estar en hitos no dinámicos (temporalmente hablando).

- La distribución espacial de los puntos de control, donde lo idóneo sería una malla uniforme para evitar errores de ponderación de las zonas con pocos puntos en relación a otras con muchos.

Tabla 3. Ejemplo de tabla de salida de puntos de control.

Link								
Total RMS Error: Forward:3,51352								
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	743,811767	-1951,489237	675994,694183	4611605,059379	0,561957	3,63945	3,68258
<input checked="" type="checkbox"/>	2	990,081509	-1932,237881	676152,395386	4611616,930023	0,816738	-2,14413	2,29441
<input checked="" type="checkbox"/>	3	685,951842	-130,415175	675912,334846	4612767,968568	-0,137624	1,6493	1,65503
<input checked="" type="checkbox"/>	4	1772,490890	-33,422105	676608,798822	4612856,675757	1,96968	4,74583	5,13834
<input checked="" type="checkbox"/>	5	84,408311	-78,488421	675523,655627	4612783,277357	-1,81387	-3,28372	3,75139
<input checked="" type="checkbox"/>	6	1110,322340	-933,784386	676204,551642	4612261,807087	0,300049	0,758426	0,815622
<input checked="" type="checkbox"/>	7	854,836466	-573,057748	676031,966162	4612486,768185	0,367974	0,248747	0,444162
<input checked="" type="checkbox"/>	8	1354,314426	-1181,571873	676365,534194	4612109,102536	-1,23717	1,45104	1,90686
<input checked="" type="checkbox"/>	9	654,317801	-764,060154	675907,964480	4612359,787112	0,273015	-0,0843771	0,285757
<input checked="" type="checkbox"/>	10	791,563256	-1442,544754	676012,059292	4611930,696644	-0,240211	2,33409	2,34642
<input checked="" type="checkbox"/>	11	1266,139423	-2349,163688	676337,748294	4611362,673373	-1,0504	4,61301	4,73109
<input checked="" type="checkbox"/>	12	740,198430	-2319,178454	676003,580504	4611370,853641	2,76872	4,9669	5,68646
<input checked="" type="checkbox"/>	13	78,991801	-1333,220028	675551,607622	4611978,158208	-1,0892	-4,80044	4,92246
<input checked="" type="checkbox"/>	14	126,442627	-335,976051	675559,292816	4612620,420727	0,569158	-2,16359	2,2372
<input checked="" type="checkbox"/>	15	2061,341016	-2073,371700	676840,807389	4611546,905207	-1,15657	-4,96118	5,09421
<input checked="" type="checkbox"/>	16	1790,820946	-2113,171377	676668,940286	4611515,794558	-0,529797	-4,73471	4,76426
<input checked="" type="checkbox"/>	17	2157,530552	-1736,486176	676895,029013	4611767,441575	-0,372443	-2,23466	2,26548

☒ Auto Adjust
☐ Degrees Minutes Seconds
 Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)
 Forward Residual Unit : Unknown



Ilustración 18. Puntos de control sobre imagen de 1946.

Por último, se crea una tabla de salida en donde cada fila representa un punto de control y en las columnas se datan las coordenadas geográficas (x, y) y las coordenadas imagen-píxel (fila, columna). En la tabla 3, expuesta a continuación, se muestra un ejemplo realizado en nuestro trabajo con ArcGis 10.1; en la parte superior se señala el Error Cuadrático Medio (ECM, a partir de ahora) de 3,51 m. En la tabla se pueden ver las coordenadas imagen (píxel) y las de establecidas mediante la imagen de referencia (UTM Z30N del PNOA 2012). A partir de la correlación de todos los puntos de control, obtenemos los residuales unitarios de cada punto en relación al resto (en x, en y en el global).

- **Fase 2 - Calcular las funciones de transformación:**

Una vez establecidos los puntos de control, hay que ajustar unas ecuaciones que relacionen las coordenadas geográficas y las de la imagen. Esta relación permite estimar qué coordenada X, Y pertenece a cada fila-columna de la imagen. La ecuación más simple sería una ecuación lineal. Diferentes tipos de conversiones implican diferente grado de complejidad en las funciones. Existen transformaciones de translación, cambios de escala, de inclinación, de perspectiva y de rotación. El grado de ajuste de la transformación dependerá de la complejidad topográfica y de los residuales obtenidos en cada punto de control (valor estimado-valor observado). Cuanto mayores sean estos residuales, el ajuste es peor.

En nuestro trabajo, se han utilizado funciones de transformación de primer orden como se muestra en la Tabla 3, ya que el área de estudio no es muy grande y la orografía es suave.

El **ECM** en nuestro trabajo varía según el año de estudio, ya que hay años en los que se dispone de menos puntos de control o están distribuidos de forma no óptima, o la resolución espacial del documento fotográfico es menor, produciéndose un ECM mayor; en cambio, en otros, la posibilidad de tener una mayor y bien distribuida cantidad de puntos, junto a una mejor resolución espacial, se traduce en un mejor ajuste entre imágenes. De todos modos, se ha intentado aproximar el ECM al mínimo posible, verificando que las coordenadas estuvieran bien introducidas, corrigiendo o incluso eliminando puntos de control que tenían un alto residual, ligado a la incertidumbre que este proceso implica (como la equivocación a la hora de detectar un hito que en realidad es poco fiable o equivocado). El mayor ECM que se decidió asumir ha sido 18 m; ninguna de las imágenes utilizadas sobrepasa este umbral, correspondiendo los mayores ECM a los documentos de 1927 y 1965, que oscilan en torno a 16 metros de ECM.

En varios los casos, al tener varios segmentos fotográficos o imágenes en mosaico por año, se ha procedido a georreferenciar separadamente cada porción de imagen, lo que tiene un efecto positivo, pues se gana en precisión del ajuste al realizarse con más puntos de control en un área de mayor resolución espacial, pero también otro negativo, pues las correcciones son unitarias y no se obtienen ajustes iguales, por lo que pueden existir errores de contacto entre segmentos diferentes de imágenes del mismo año.

- **Fase 3 - Transferir los ND originales a la posición corregida:**

La realización del paso anterior supone una transformación en las coordenadas, pero también hay que transferir los niveles digitales que cada píxel anterior albergaba a su nueva

localización. (Chuvieco, 2000). Es un paso complejo porque la imagen corregida geométricamente puede variar en tamaño (en número de píxeles o en el tamaño de los mismos) respecto a la original. Hay 3 métodos para trasvasar los ND:

- Vecino más próximo: En cada píxel de la imagen corregida se coloca el ND de la celda más cercana a su homóloga original. Ventaja: es la solución más rápida y sencilla; inconvenientes: introduce distorsión en los elementos lineales.
- Interpolación bilineal: Promedio de los ND de los cuatro píxeles más cercanos en la original, en donde se pondera con mayor influencia aquellos píxeles que están más cerca. Ventaja: menor distorsión de los elementos lineales; inconveniente: difumina los contrastes espaciales, ya que pondera los ND originales.
- Convolución cúbica: Considera los ND de los 16 píxeles más próximos. Ventaja: efecto visual óptimo; inconveniente: difuminado mayor que en la interpolación bilineal y mayor volumen de cálculo.

La elección del método dependerá, sobre todo, del objetivo del trabajo, así como también de los recursos informáticos a nuestro alcance. En nuestro caso se ha utilizado el vecino más próximo ya que es el que menos cantidad de cálculos requiere y la potencia informática del ordenador en donde se ha realizado el grueso del trabajo es pequeña.

En un análisis multitemporal urbano como el nuestro, toda esta fase de georreferenciación conlleva una seria problemática, puesto que cuanto mayor es la separación temporal entre las dos imágenes sucesivas, más ha cambiado la realidad urbana, y por lo tanto más difícil es encontrar puntos semejantes.

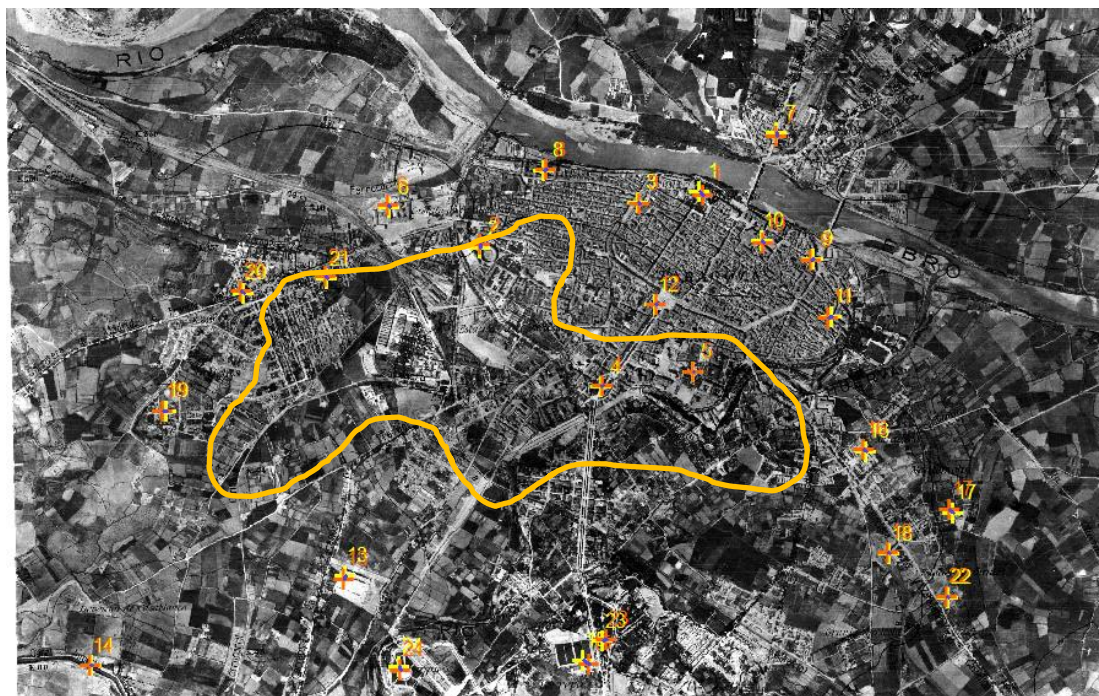


Ilustración 19. Puntos de control y ausencia de los mismos sobre el fotoplano de 1927 (CHE).

El caso más extremo de nuestro trabajo es el de la imagen de 1927, en la que, exceptuando edificios históricos y el casco histórico, apenas encontramos hitos similares, ya

que la mayor expansión zaragozana se da a posteriori y donde ahora encontramos edificios, barrios y carreteras, en los años 20 solo había pequeños caminos, torres, granjas y campos de cultivo. Como se puede observar en la Ilustración 19, la toma de puntos de control es complicada y éstos no están óptimamente distribuidos ante la ausencia de hitos representativos a lo largo del área de estudio. Toda la zona rodeada por la línea amarilla carece de puntos de control, lo que conlleva un ECM alto, a pesar de ser una imagen con una buena resolución espacial.

Una vez establecidos los puntos de control en las imágenes de estudio, elegido el orden polinomial de la transformación y la efectuada la transferencia de los niveles digitales, tendremos ya la imagen corregida y georreferenciada para poder realizar una foto-clasificación.



Ilustración 20. Fotograma de 1984 georreferenciado y superpuesto sobre la Ortofoto PNOA de 2012.

4.1.3 Generación del mosaico fotográfico

Algunas de las imágenes con las que se trabaja vienen dadas con unos marcos de diferente naturaleza. En el caso de las del año 1927 y 1939 son marcos adyacentes a la imagen con su información propia, como el título o el norte. Por otro lado, los archivos descargados del año 1947 en el CNIG, suministrados en formato .pdf, incluyen en sus márgenes información de la fecha del vuelo, el norte, su procedencia, hoja del MTN, etc. En 1965 o 1984, al ser contactos de pares estereoscópicos, los marcos son el borde que acompaña a cualquier negativo fotográfico.

En todos los casos se ha decidido eliminar los marcos que pudieran molestar en el análisis visual, mejorando, además, su apariencia estética. Para solucionarlo se ha realizado la función espacial “extract by mask” en ArGIS 10.1, a partir de la creación de un polígono que abarca todos los píxeles que queremos mantener, excluyendo y eliminando los que se encuentran fuera (en este caso los marcos y bordes innecesarios).

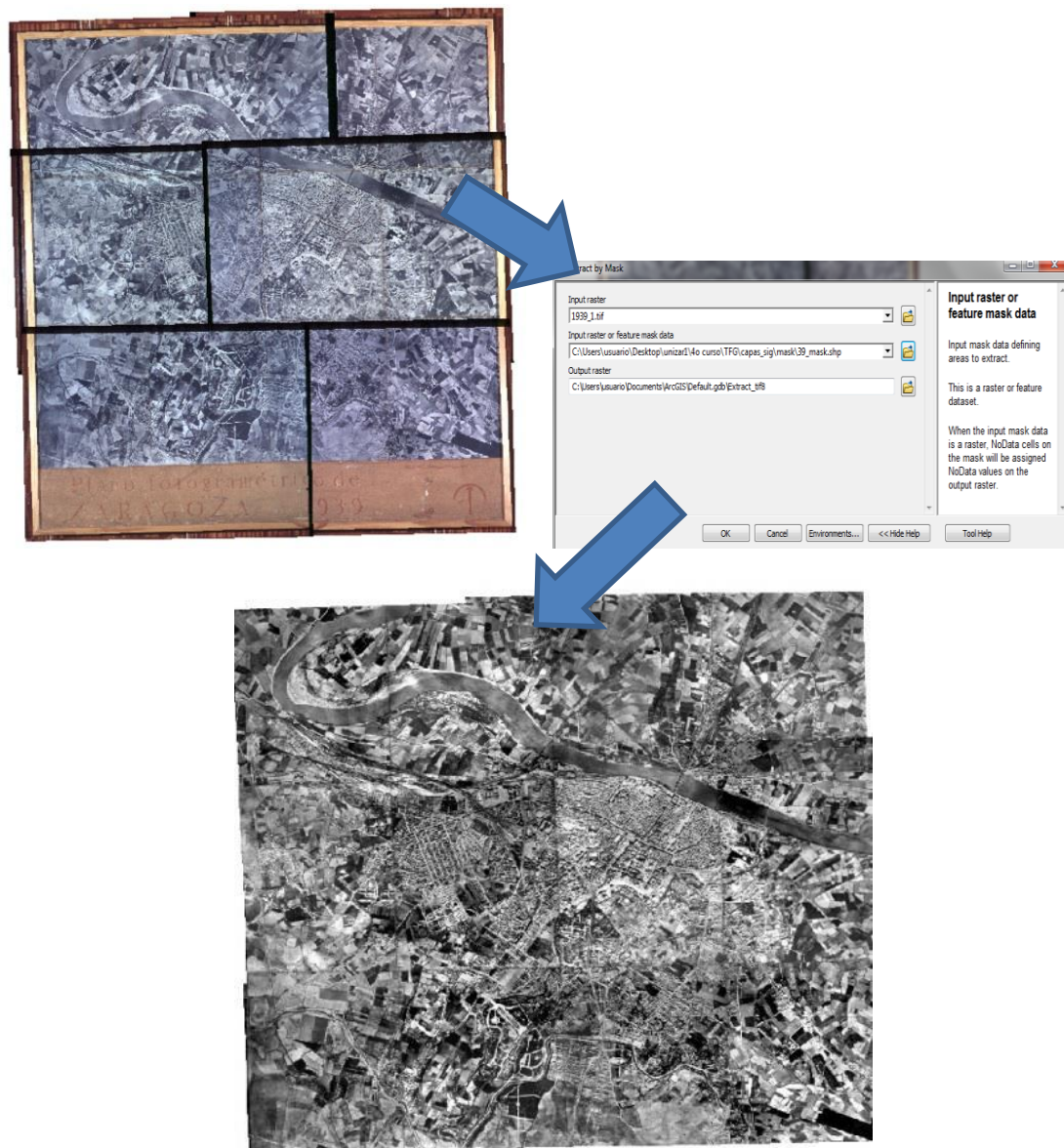


Ilustración 21. Esquema del proceso de extracción de marcos en las imágenes de 1939.

En el caso de las imágenes de 1947, antes de su tratamiento había que transformarlas a formato imagen, para lo que se ha usado un conversor de documentos online que permitiera no perder resolución espacial a la imagen y, posteriormente, se ha recortado con el software “Paint”, ya que al no contener información localización espacial, no era necesario hacerlo con ArcGis (véase ilustración 22).

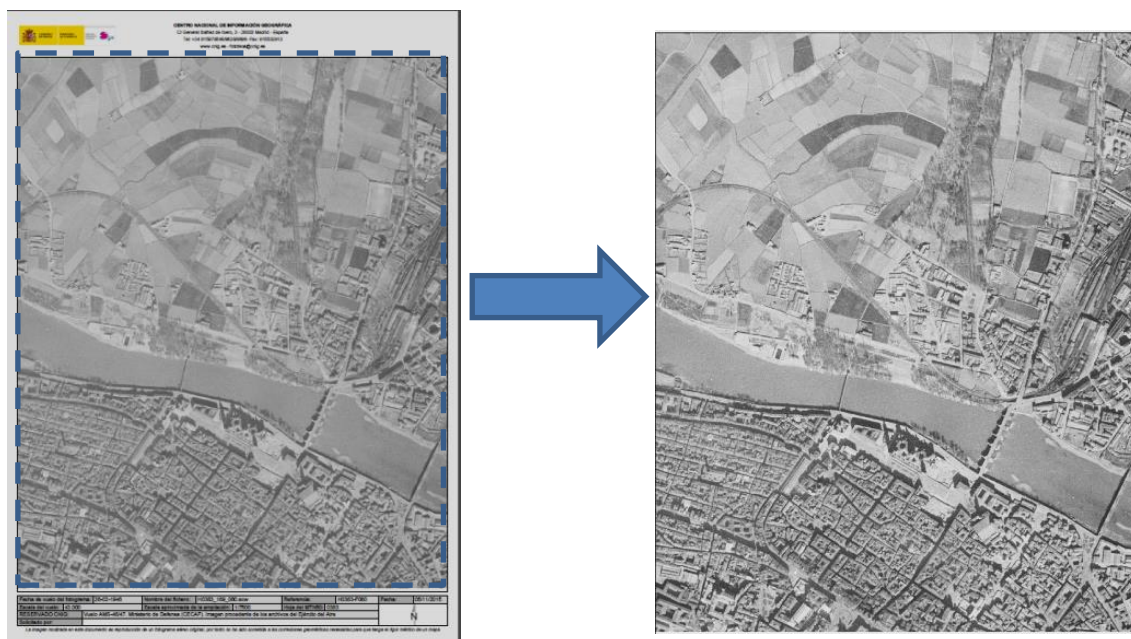


Ilustración 22. Extracción de marcos en imagen de 1946.

Además de la extracción de los marcos, en algunos años ha sido necesario corregir el brillo y contraste de algunas imágenes. Esto ocurre en fotogramas como los de 1984 y 1965, en los que, al ser individualizados, cada uno tiene un brillo o contraste propio, por lo que hay un desfase en los mismos debido a la hora que fue tomada la foto, la radiación solar, la reflectividad de cada zona, la inclinación del avión, etc. Para ello se ha ido modificando el histograma de cada imagen hasta conseguir que presentaran una similitud visual. Al ser un método de “ensayo-error” no se ha conseguido una correlación perfecta entre todas las imágenes. Sin embargo, visualmente la mejoría es significativa.

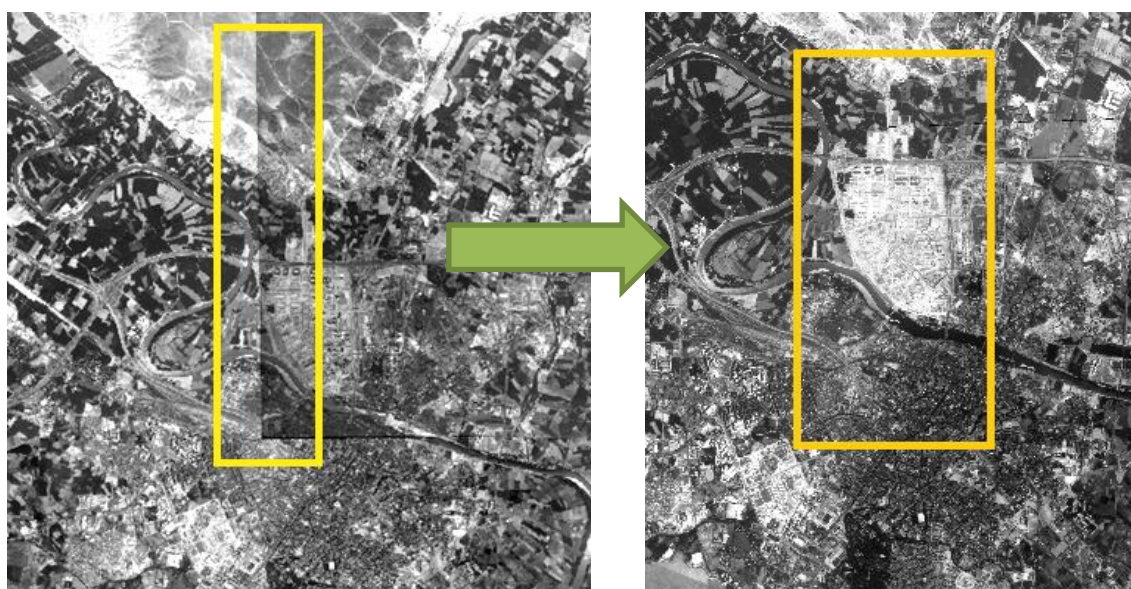


Ilustración 23. Ejemplo de rectificación del brillo y contraste en el 1984.

Por último, cuando ya tenemos las imágenes sin marcos y con un brillo y contraste homogeneizado, se procede a la unión en mosaico de las mismas. Esto es un sencillo paso mediante la función “Mosaic to new ráster” de “arcToolbox”, la cual une diferentes archivos

ráster en uno solo. Aunque es un procedimiento sencillo de hacer, nos será de gran utilidad práctica, ya que a la hora de trabajar no tenemos que mover una gran cantidad de archivos y esto facilitará nuestro trabajo con SIG.

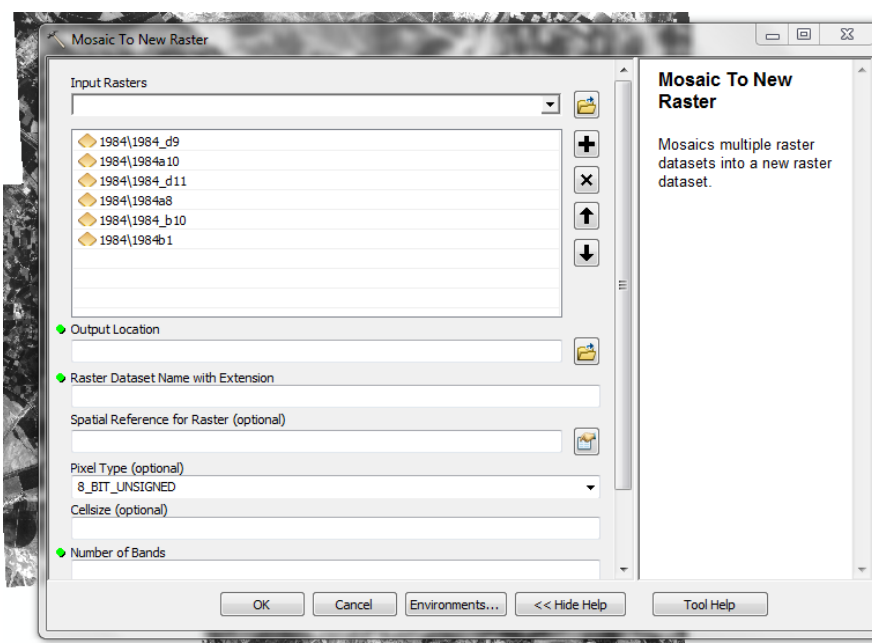


Ilustración 24. Ejemplo operación de mosaicado.

4.1.4 Foto-clasificación: definición de leyenda, criterios para la foto-identificación y escala de análisis

La siguiente fase a realizar es la foto-clasificación de la ciudad de Zaragoza en cada año disponible. Esta parte es crucial en el desarrollo del trabajo, puesto que de ella se van a extraer los resultados, basados en el análisis espacial a partir del uso de los SIG. La foto-clasificación consiste en el reconocimiento de elementos en función de su apariencia visual. Esta identificación se ha obtenido de varias maneras: a partir de archivos, planos y bibliografía, mediante visualización *in situ* (solo posible para el año 2012) o mediante fotointerpretación a partir de los documentos fotográficos aéreos; este último método ha sido el principal, aunque nos hemos valido también de los otros nombrados.

A su vez, esta etapa implica dos subprocesos: la definición de la leyenda y la adopción de los criterios para la foto-identificación de los elementos definidos en la leyenda.

Para la fotointerpretación, la leyenda se ha definido con 4 clases, adoptando un enfoque formal, atendiendo a la naturaleza formal, los materiales que conforman los elementos identificados; por tanto, no se pretende definir o cartografiar la funcionalidad de cada superficie, sino la ocupación del mismo. Así pues, para el análisis de la ciudad se ha atendido, en cada año, a las siguientes clases:

- a) **Urbano consolidado:** Todo aquel segmento de ciudad que presenta una alta densidad de edificios de varias plantas, en donde existe un equipamiento urbano denso, con calles asfaltadas, aceras... No ha sido necesario establecer criterios de unidad mínima cartografiable (UMC), ya que el área de todos los polígonos fotointerpretados es lo suficientemente grande.



Ilustración 25. Ejemplo de urbano consolidado (PNOA 2012).

- b) **Urbano débil o disperso:** Zonas que estando, dentro de la ciudad o en sus cercanías, tienen una densidad baja de viviendas o infraestructuras. En este grupo se engloban urbanizaciones, casas unifamiliares ajardinadas, pequeños edificios o casetas, barrios con las calles no asfaltadas y casas bajas y ajardinadas como pueden ser Torrero o Delicias en la primera mitad de Siglo XX, por ejemplo.



Ilustración 26. Ejemplo de urbano débil o disperso (1927).

- c) **Zonas verdes:** Parques, jardines o zonas de vegetación natural inmersas en la ciudad, como por ejemplo las riberas.



Ilustración 27. Ejemplo de zona verde (1945).

- d) **Urbano en construcción o sin edificar:** En esta clase se incluyen todos aquellos terrenos que se encuentran en construcción o sin edificar. “Sin edificar” puede ser un término muy amplio; en este caso nos referimos a suelos antropizados que se encuentran vacíos o en desuso.



Ilustración 28. Ejemplo de urbano en construcción o sin edificar (1984).

Las clases son excluyentes en un mismo año de estudio. Es decir, si un elemento pertenece a una clase no puede pertenecer a otra. Sin embargo, la ciudad es algo dinámico, no solo en su expansión, sino también en su comportamiento interno. Así pues, las clases pueden variar entre los años de estudio. Un ejemplo puede ser la ilustración 29, en donde se observa una zona en construcción en 1984 pero que en próximos años de estudio se convierte en una zona urbana consolidada.

El método para diferenciar en Zaragoza las 4 clases especificadas anteriormente ha sido la creación de polígonos mediante ArcGis 10.1 para cada año y clase. Mientras se realiza la edición cartográfica, surgen nuevos problemas y decisiones que hay que adoptar. Hay que destacar aspectos puntuales que se han decidido subjetivamente –y que se podrían haber realizado con otro enfoque metodológico– respecto a lo foto-clasificado para solventar estos problemas. Cabe mencionar las siguientes problemáticas:

- La clasificación en 4 clases de una realidad, aunque bien definida como es la ciudad, puede conllevar segmentos heterogéneos. Por ejemplo, zonas de transición entre dos realidades han tenido que ser incluidas en una única mancha. También hay zonas diferentes entre sí dentro de una misma clase (pequeños jardines y vegetación natural de ribera, barrios como Delicias con calles estrechas y muy densificadas o barrios más abiertos como Valdespartera, etc.).
- Las grandes calles o avenidas, que aunque puedan verse flanqueadas por zonas verdes o urbano disperso, se han cartografiado como urbano consolidado. Este ejemplo es más común en los primeros años de estudio, en los que encontramos avenidas pavimentadas que, en sus márgenes, solo albergan torres o pequeñas casas unifamiliares con terrenos no edificadas.
- Otra decisión que se ha tomado es no considerar ciudad a los cultivos anexos o inmersos en la misma. Es muy común en los primeros años encontrar parcelas agrícolas de regadío que la ciudad ha ido incorporando con su avance. Esto sucede hasta la década de los años 80, cuando la ciudad fagocita la totalidad de las zonas de cultivos, exceptuando casos anecdóticos.
- Se ha optado por no cartografiar las masas de agua (ríos Gallego, Huerva y Ebro, y el Canal Imperial) ya que, aunque discurren dentro de la ciudad y forman parte de la misma, en nuestro análisis de expansión urbana no se ha considerado necesaria su cartografía, aunque sí puedan explicar fenómenos de expansión urbana.
- Grandes viales como autopistas y autovías que intersectan la ciudad no han sido incluidas en la cartografía.

Otra problemática relacionada con la digitalización ha sido que, para que los polígonos estuvieran posicionados lo más exactamente posible, dados los problemas de georreferenciación, se ha decidido empezar a cartografiar por el año de referencia (la Ortofoto del PNOA de 2012), por cuanto se considera la de mayor calidad geométrica. Así pues, la creación de polígonos se ha hecho desde el año más próximo al más antiguo (1927), pudiendo así basar la creación de polígonos a los ya creados en el año de referencia que estarán ubicados exactamente. En otras palabras, la edición de los años peor corregidos y georreferenciados se realiza siempre que sea posible sobre la Ortofoto del PNOA 2012, y no sobre la foto aérea de ese año ya que ésta puede estar desviada frente a la realidad (Véase Ilustración 29, en la que se superpone a la imagen de 1965 georreferenciada la correcta ubicación del Canal Imperial).

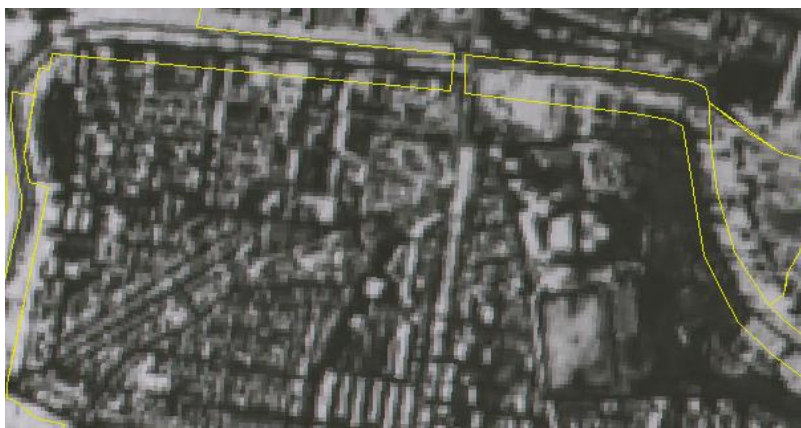


Ilustración 29. Ejemplo de inconsistencia geométrica (Torrero en 1965).

Respecto a la escala de análisis en la que se trabaja, se debe tener en cuenta que el grado de detalle es intermedio, de acuerdo con los objetivos del trabajo, y no nos permiten realizar discriminaciones entre bloques de edificios, diferentes secciones de jardines, parcelario, etc., habiéndose procedido a unir varios entes en un mismo polígono siempre que fueran de la misma clase.

Como ya se ha nombrado anteriormente, para cada año se ha creado 1 capa con 3 clases diferentes. Para estas clases se ha estimado una UMC, teniendo en cuenta aquellos años con una menor resolución espacial, que no permite fotointerpretar de manera segura una zona. El resto de años se ha tenido pues que amoldar al año de peor resolución, en nuestro caso 1939. Se decidió que la UMC fuera de 0,03 ha (300 m²). En la práctica, este umbral a partir del cual no clasificábamos, solo se ha dado para dos clases: zonas verdes (pequeños jardines menores de 300 m²) o suelos urbanos desnudos y sin edificar, los cuales son asumibles dentro de otras clases. Con las clases “urbano consolidado” y “urbano débil o disperso” no ha habido problemas, ya que todas las zonas que se han fotointerpretado cumplían holgadamente esta UMC.



Ilustración 30. Foto-clasificación regadío - vegetación natural/secano.

Otro aspecto que se ha abordado ha sido la foto-clasificación de la ciudad y su entorno en dos realidades: regadío y seco/vegetación natural. La diferenciación entre estas dos clases sirve para, posteriormente, poder explicar si la ciudad ha crecido sobre terreno con una alta

productividad (el regadío) o sobre una zona más pobre y con menos proyección económica en cuanto a usos de suelo se refiere: el seco y la escasa vegetación natural del entorno semiárido de Zaragoza.

4.2 ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE CUBIERTA VEGETAL EN ZARAGOZA MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT

La siguiente parte del proceso metodológico del trabajo está relacionada con el segundo objetivo principal del trabajo: el análisis de la vegetación urbana en la ciudad de Zaragoza. Para ello se han utilizado imágenes Landsat desde 1972 hasta 2010, registradas con los sensores Multispectral Scanner (MSS), Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper (ETM+) y Operational Land Imager (OLI), de Landsat 1 hasta Landsat 8, pudiendo así analizar toda la disponibilidad existente de años. Hay que reseñar que no es un análisis de las zonas verdes, sino de la presencia de cubierta vegetal en toda la ciudad. En otras palabras, este análisis incluye zonas verdes, pero también calles y avenidas arboladas. Este proceso se dividirá en fases: la descarga de las imágenes, su pre-tratamiento digital y, por último, la aplicación de índices de vegetación.

4.2.1 Selección de las imágenes satélites utilizadas y sus características

Las imágenes satelitales se han seleccionado y obtenido del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), una agencia gubernamental estadounidense. A partir de su visor GLOVIS, se puede especificar el “path/row” (fila-columna) de paso del satélite en su órbita heliosincrónica. Una vez se detalla el “path” y el “row” del área de estudio, se muestra el histórico de imágenes satélites descargables y sus características (tipo de sensor, fecha, porcentaje de nubes, etc.).

Para nuestro estudio, al dirigirse a temas de vegetación, se ha decidido establecer que las fechas de las imágenes usadas para cada año descargado coincidan en la fecha o, al menos, la estación, para que el factor fenológico interviniera lo menos posible. En nuestro caso, las imágenes descargadas son todas del mes de agosto, cuando el vigor vegetal es, quizá, algo menor que en los meses primaverales pero en el que la disponibilidad de imágenes es mayor, por la menor nubosidad; debe tenerse en cuenta que no se busca la imagen de mayor vigor vegetal, sino que el mismo sea más o menos homogéneo en los años de estudio.. En la tabla 4 se detallan las imágenes descargadas y las características básicas de las mismas.

Tabla 4. Imágenes Landsat utilizadas.

Imagen	Sensor	Fecha	Porcentaje de nubes	Resolución espacial (m)
1	MSS	20/08/1972	7%	80
2	TM	20/08/1984	0%	30
3	TM	04/08/1987	0%	30
4	TM	27/07/1990	0%	30
5	ETM+	29/08/1999	4%	30
6	TM	31/07/2003	0%	30
7	TM	03/08/2010	24%	30
8	OLI	11/08/2013	0%	30

Como se puede ver, se han usado 8 imágenes repartidas en 8 años. Se ha intentado realizar una distribución de las mismas lo más regular posible a lo largo del tiempo; aunque no ha sido posible realizarlo en rangos completamente iguales en años, debido a la disponibilidad real de imágenes disponibles en el visor GLOVIS. Se ha utilizado una imagen del sensor MSS, el más antiguo y el de menor resolución espacial (80 m) y espectral; pero en 1972 era el único en órbita. El resto son TM, ETM+ y, para 2013, una imagen de Landsat 8 (OLI), con resolución espacial de 30 m. Estos valores de resolución lo son para las bandas ópticas utilizadas, ya que otras bandas de estos sensores presentan diferente resolución, como en el térmico.

Otro apartado incluido en la Tabla 4 es el porcentaje de nubes existentes en la imagen. En algunos casos las nubes son un inconveniente a la hora de realizar análisis espacial en teledetección. Pero, como sucede en este caso, si las nubes que hay en las imágenes no se sitúan sobre la ciudad de Zaragoza, no tenemos problemas en usarlas. Las Ilustraciones 31 a 34 muestran 4 imágenes descargadas, una de cada sensor utilizado. Estas composiciones son visualizaciones que realiza GLOVIS antes de la descarga para previsualizar el área de estudio.

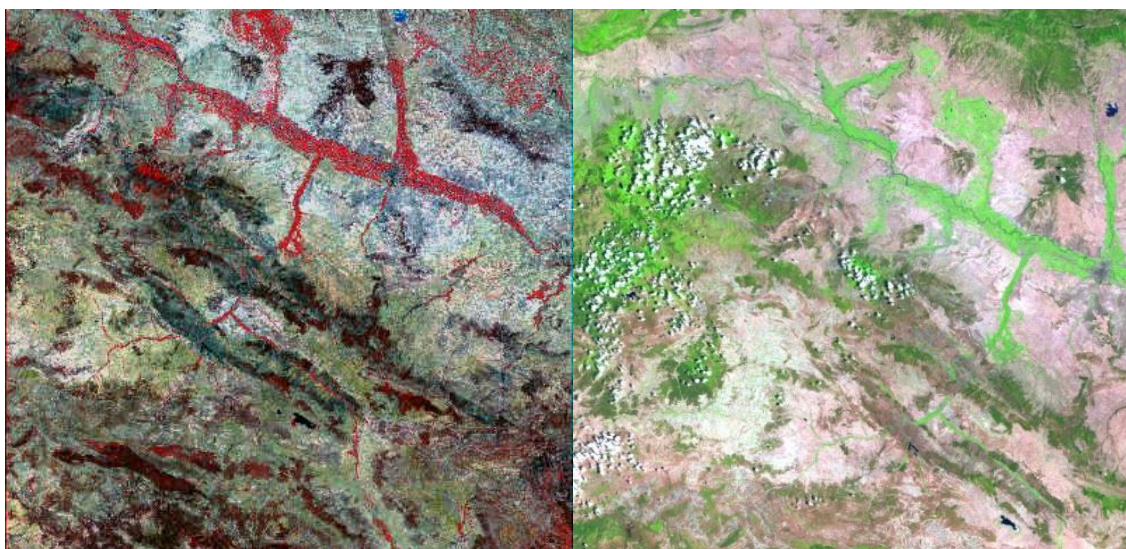


Ilustración 31. Imagen MSS (1972), izda. Ilustración 32. Imagen TM (1990), dcha. Fuente: USGS.

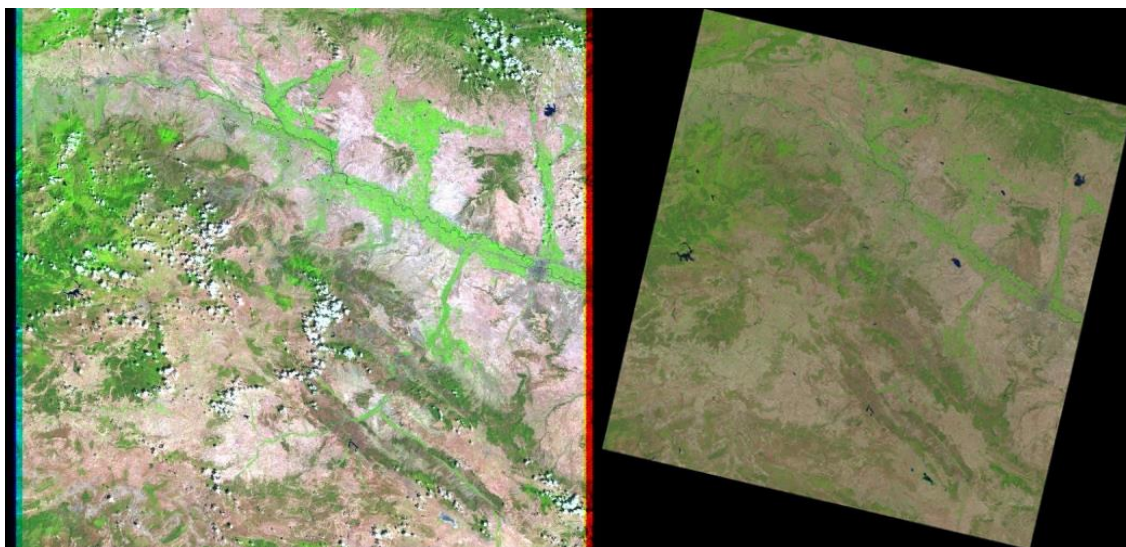


Ilustración 33. Imagen ETM+ (1999), izda. Ilustración 34. Imagen OLI (2013), dcha. Fuente: USGS.

4.2.2 Pretratamiento digital de las imágenes

Antes de poder usar las imágenes para el análisis digital de las mismas, hay dos pasos previos a realizar: el “subset” o recorte del área de estudio y la corrección atmosférica.

a) Recorte del área de estudio:

Las descargas realizadas de imágenes satelitales son de un territorio mayor que el de nuestra área de estudio (como se puede observar en las Ilustraciones 31 a 34). El realizar nuestro trabajo sin hacer un recorte del área de estudio supondría trabajar en vano con imágenes más pesadas y que podrían generar errores o imponer limitaciones de software. Por ello, para agilizar el trabajo, mediante la función “Subset” del software DIMPLE 3.0 se realiza un recorte de la zona de estudio mediante la asignación de las coordenadas UTM de los extremos superiores e inferiores que queremos crear.

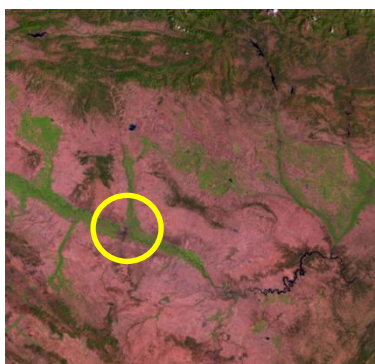


Ilustración 35. Ejemplo de recorte mediante “Subset” (1984).



b) Corrección atmosférica:

La atmósfera interactúa con la energía óptica y afecta al registro de las imágenes de satélite, básicamente en relación con la dispersión selectiva de la energía incidente, de modo que el registro de la energía reflejada se ve incrementado por aquella parte que es reflejada por los gases y partículas que constituyen la atmósfera. Por lo tanto, para tener un registro real de la imagen hay que obviar –suprimir– este efecto atmosférico. Para ello se utilizará y aplicará un sencillo script (“IOL” en DIMPLE 3.0), que restará a todos los píxeles el nivel digital (ND) mínimo registrado en la zona de estudio, asumiendo el hecho de que en una imagen registrada en un área heterogénea, como es la nuestra de estudio, debieran existir píxeles de reflectividad nula; es el proceso que se conoce como “dark object subtraction” (sustracción de objeto oscuro). Estos ND mínimos, diagnosticados para cada banda, se restan en cada canal; las figuras 3 y 4 ilustran estos valores sustraídos para dos de las imágenes trabajadas.

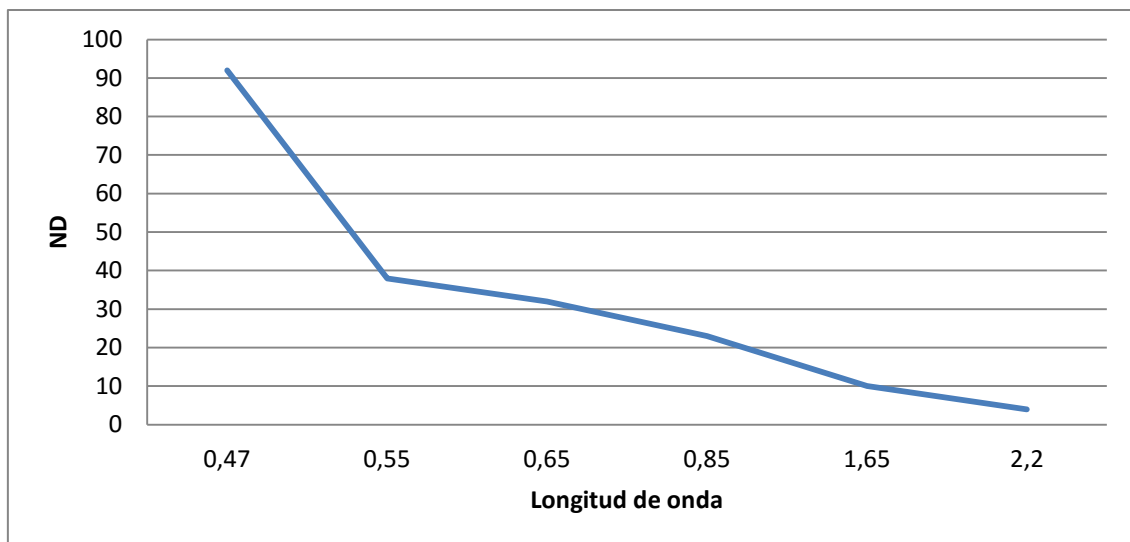


Figura 3. Magnitud, en ND, de la dispersión atmosférica (1984).

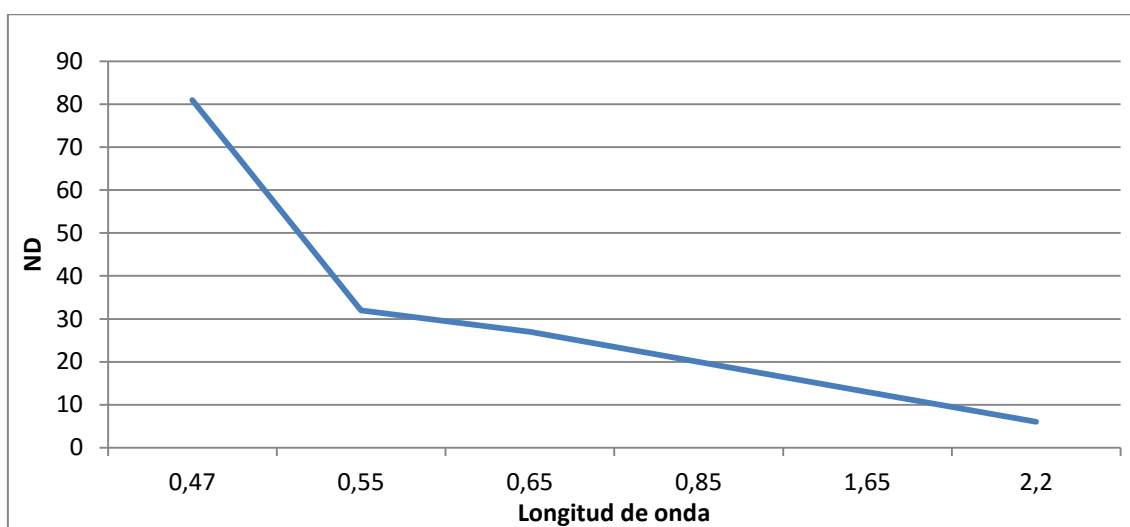


Figura 4. Magnitud, en ND, de la dispersión atmosférica (1990).

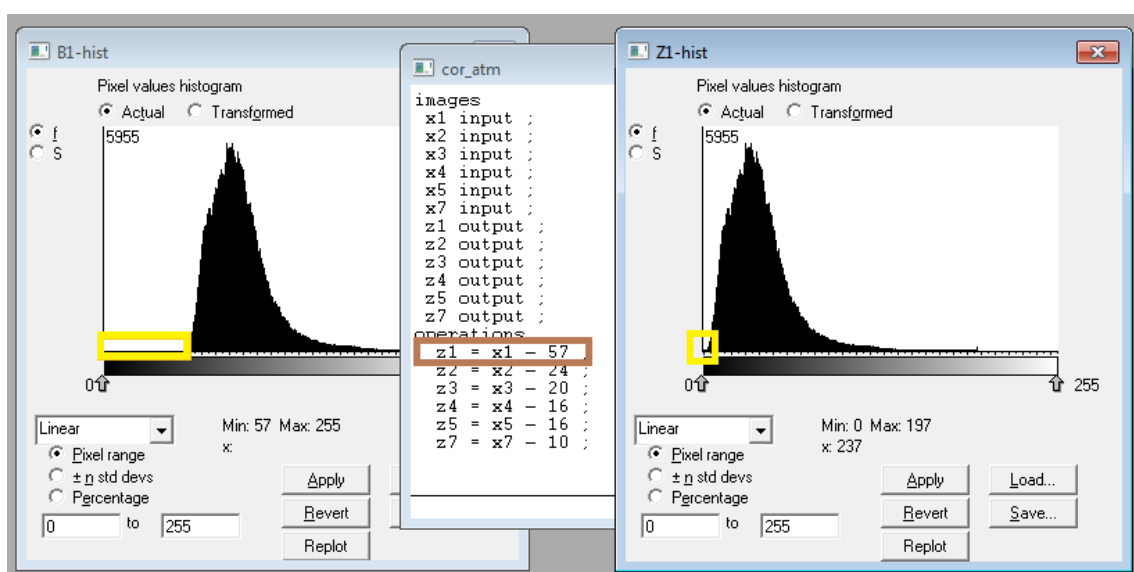


Ilustración 36. Corrección atmosférica de la banda 1 de la imagen de 2010.

Como podemos ver en las figuras 3 y 4, la relación entre la longitud de onda y la magnitud de la dispersión atmosférica presentan una relación inversa, más acusada cuanto menor es la longitud de onda, singularmente en el espectro visible. Esto se debe a que la transmisividad de la atmósfera es menor en estas bandas, mientras que en longitudes de onda mayores es menor el efecto de la dispersión selectiva.

4.2.3 Aplicación del NDVI para la definición de la presencia de vegetación

Una vez que se han pre-tratado digitalmente las imágenes, corrigiendo el efecto atmosférico sobre las mismas y recortando el área de estudio, se procede al cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para cada año. El NDVI es un cociente normalizado entre dos bandas que, aplicado a todos los píxeles de la imagen, genera un neocanal. Cada cubierta presenta un comportamiento diferente en cada banda, inverso entre las bandas de rojo y el infrarrojo próximo para el caso de la vegetación, por lo que un cociente entre ambas permite realzar la detección y diferenciación, por ejemplo, entre los suelos desnudos o la edificación frente a la vegetación (Chuvieco, 2002).

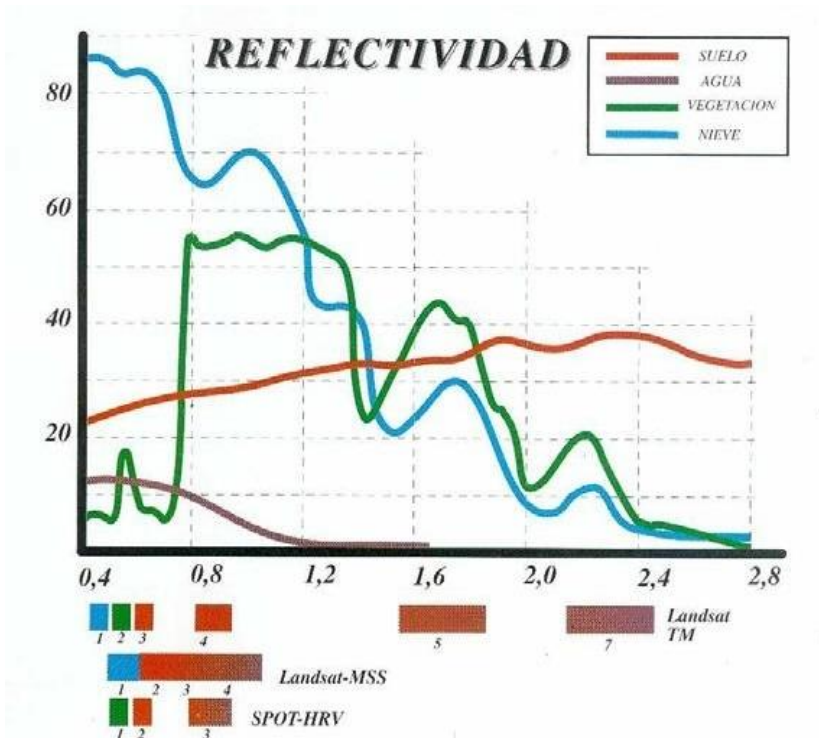


Ilustración 37. Signaturas espectrales de diferentes cubiertas. Fuente: Google Images.

Como evidencia la Ilustración 37, la vegetación sana muestra unos niveles bajos de reflectividad en el visible y altos en el infrarrojo cercano; esto permite separar la vegetación sana de otras cubiertas (Chuvieco, 2002). Para el cálculo de este índice se usa fórmula recogida en la Ilustración 38

$$NDVI = \frac{RED_{IR} - RED_{VIS}}{RED_{IR} + RED_{VIS}} = \begin{cases} < 0 & \text{water} \\ \approx 0 & \text{soil} \\ > 0.4 - 0.8 & \text{vegetation} \end{cases}$$

Ilustración 38. Formulación del NDVI. Fuente: Google Images.

Como vemos, el NDVI de un pixel con valor mayor a 0,4 denota que se trata de un pixel cubierto por vegetación. Cuanto más cerca de 1 esté el valor, mayor vigor vegetal presentará ese pixel. En nuestro trabajo, hemos aplicado este cálculo para cada año mediante un script (IOL, en DIMPLe), de forma semejante a como se procedió para la corrección de la distorsión ocasionada por la atmósfera.

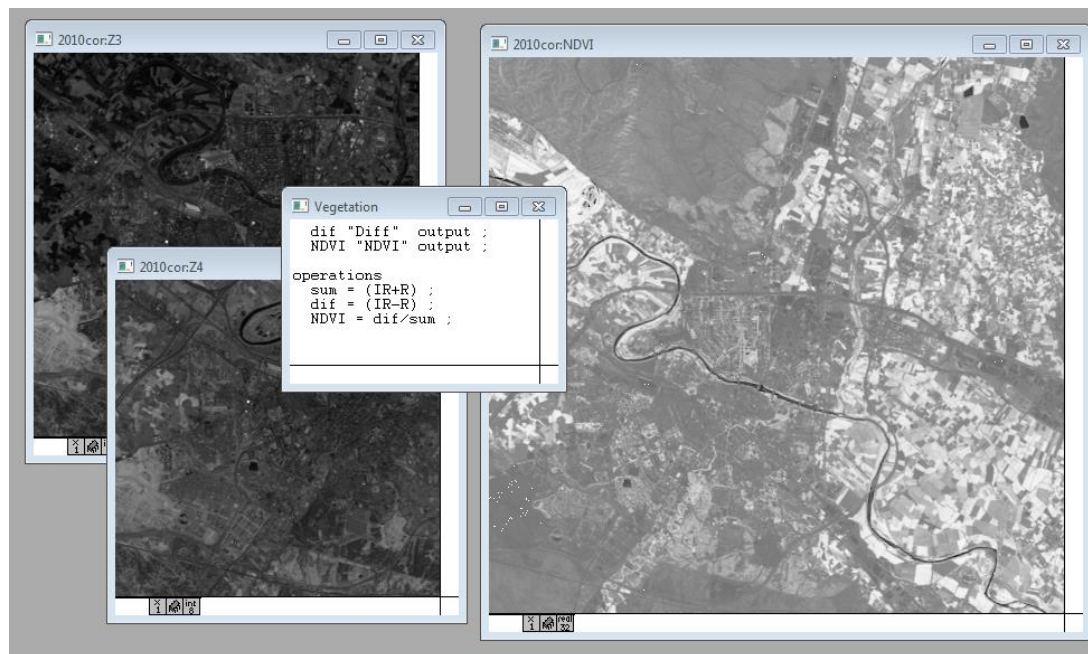


Ilustración 39. Esquemmatización del cálculo del NDVI mediante DIMPLe 3.0.

Una vez obtenidos los índices de vegetación para todos los años de estudio procedemos a excluir los alrededores de la ciudad, aquellas zonas que no consideramos medio urbano y que, por lo tanto, solo generan ruido en el análisis visual posterior; piénsese que, si bien las superficies vegetadas de la ciudad son de carácter permanente, la presencia de vegetación ligada a los cultivos es de carácter coyuntural. Este proceso de recorte se ha realizado mediante la función de ArcGis 10.1 “extract by mask”, usando como elemento de recorte un polígono del contorno de la ciudad.

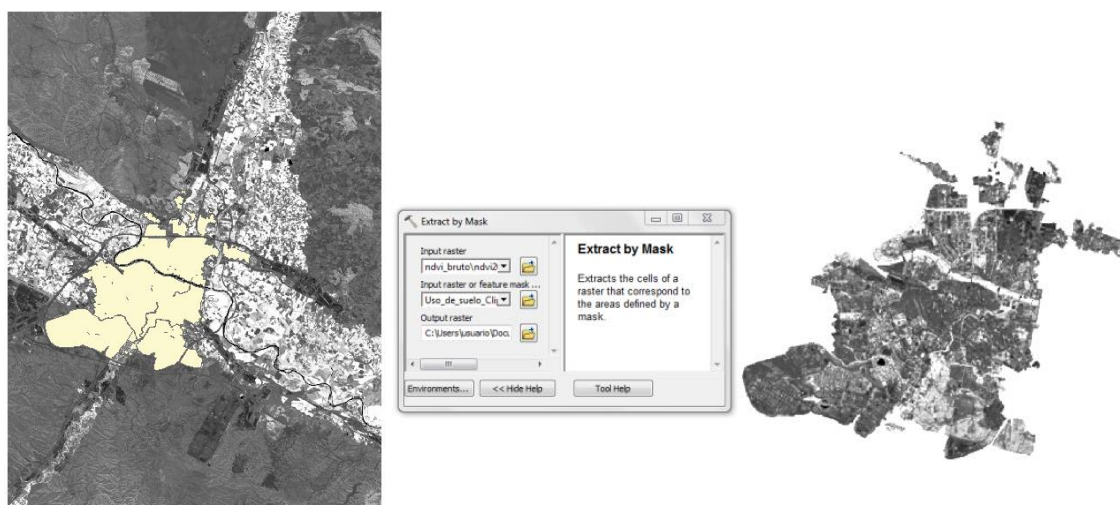
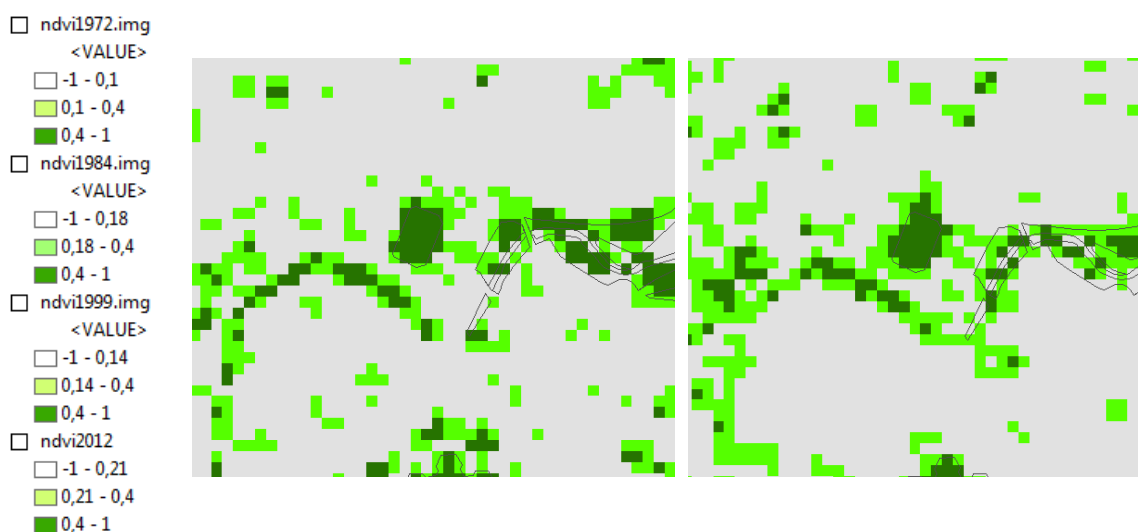


Ilustración 40. Proceso de recorte del NDVI para el área urbana.

Por último, el NDVI de cada año ha sido clasificado en tres categorías diferentes para establecer rangos de vegetación, desde la ausencia de la misma hasta zonas con un alto vigor vegetal. Según el marco teórico, la presencia de vegetación comienza a observarse cuando el NDVI es $>0,14$ (García *et al.*, 2010), valor que indica la existencia de píxeles mixtos, con proporción escasa de cubierta vegetal, con participación compartida de zonas de suelo desnudo (asfalto, edificios, etc.).

Para el análisis de nuestras imágenes ha sido necesario realizar la reclasificación independientemente para cada fecha, ya que por el efecto residual no corregido totalmente de la atmosférica y por el hecho de no haberse realizado la conversión de los ND a valores de radiancia espectral o reflectividad, un valor determinado de NDVI en una imagen no expresaba lo mismo en otra. Por ello, empíricamente se han ido estableciendo rangos particulares para cada clase creada de vegetación urbana (“sin vegetación”, “presencia de vegetación” y “presencia alta de vegetación”). Esto se ha realizado observando el comportamiento de zonas verdes en las que se puede admitir que su presencia a lo largo de los años de estudio es prácticamente invariable, como por ejemplo, la Plaza de Los Sitios y sus calles cercanas. Trabajando con los umbrales (véase la siguiente ilustración) se ha conseguido llegar a situaciones parecidas y un diagnóstico acertado en estas zonas.

Ilustración 41. Umbrales de NDVI para varios años y ejemplo de la Plaza de Los Sitios en 1984 y 2012 (izda. y dcha., respectivamente).



Hay que destacar que, para la cartografía final, las bases cartográficas sobre las que se ha sobreimpuesto la cartografía derivada del NDVI han sido fotos aéreas utilizadas en este trabajo anteriormente. De este modo, cada fotografía aérea se asocia a los años más próximos a la fecha de cada imagen satélite. Se ha decidido realizar así la edición cartográfica porque se cree que es la mejor opción, ya que aunque no representa la realidad exacta de cada año de estudio de vegetación, la otra opción era introducir como base una composición de color de la misma imagen satélite con la que se ha realizado el NDVI, pero, a nuestra escala de análisis, la resolución espacial era demasiado grosera y se obtenía una visión poco clara de la ciudad.

En el caso de 1984 y 2012 ha sido posible que coincidan la fecha de imagen aérea e imagen satélite. Sin embargo, para 1972 y 1999 se han usado las imágenes aéreas de 1965 y 1997 respectivamente, puesto que no había imágenes de satélite disponibles en el USGS para estas fechas.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la metodología aplicada se han obtenido tanto resultados cartográficos como estadísticos sobre el crecimiento de la ciudad en sus distintas etapas a partir del análisis SIG y la fotointerpretación de las fuentes fotográficas previamente detalladas.

A continuación se analizará el crecimiento de la ciudad entre 1927 y 2012, considerando hacia dónde crece y por qué, así como qué tipología urbana es la que se expande (zona verde, urbano consolidado, etc.). Este análisis se realizará agrupando series de años de estudio por fases asimilables en el contexto histórico, político y/o social, basándonos en la información recogida en el planeamiento urbano y la bibliografía consultada. Posteriormente se abordará el análisis de la cubierta vegetal en Zaragoza, a partir del uso de la teledetección con imágenes Landsat desde 1972 hasta 2012 y su crecimiento (o decrecimiento) por zonas entre otros aspectos.

5.1 EVOLUCIÓN DE LA URBANIZACIÓN ENTRE 1927 Y 2012

Como afirma de Miguel (2014), *“Zaragoza constituye un ejemplo relevante del modo de crecimiento demográfico y urbanístico de las ciudades españolas en cuanto a ritmo e intensidad”*. Los hechos sucedidos en el siglo XX y comienzos del XXI han provocado que la ciudad de Zaragoza haya tenido una metamorfosis total. Exceptuando el casco histórico de la ciudad, el cual también ha sufrido planes de reforma interior, el resto de la ciudad actual eran pequeños barrios dispersos, torres agrícolas o campos de cultivo. La modernización industrial de principio de siglo, el éxodo rural unido a las políticas desarrollistas franquistas o el “boom” inmobiliario de finales de los años 90 y principios del siglo XXI han sido los detonantes principales de la actual configuración de la quinta ciudad española que más población alberga.

Mediante el análisis foto-interpretativo se ha realizado una cartografía, de la que a su vez se han creado gráficas de barras, que simplifica visualmente el proceso expansivo de la ciudad. Con estas dos herramientas, podemos observar el crecimiento de la ciudad dentro del marco temporal que el estudio alberga. Las figuras 4 y 5 expuestas a continuación, expresan la evolución global de la ciudad para cada etapa analizada, sin esclarecer qué tipología de suelo urbano es la que crece y donde, por lo que como visualización introductoria a los resultados es de gran utilidad.

Expansión urbana de la ciudad de Zaragoza entre 1927 y 2012

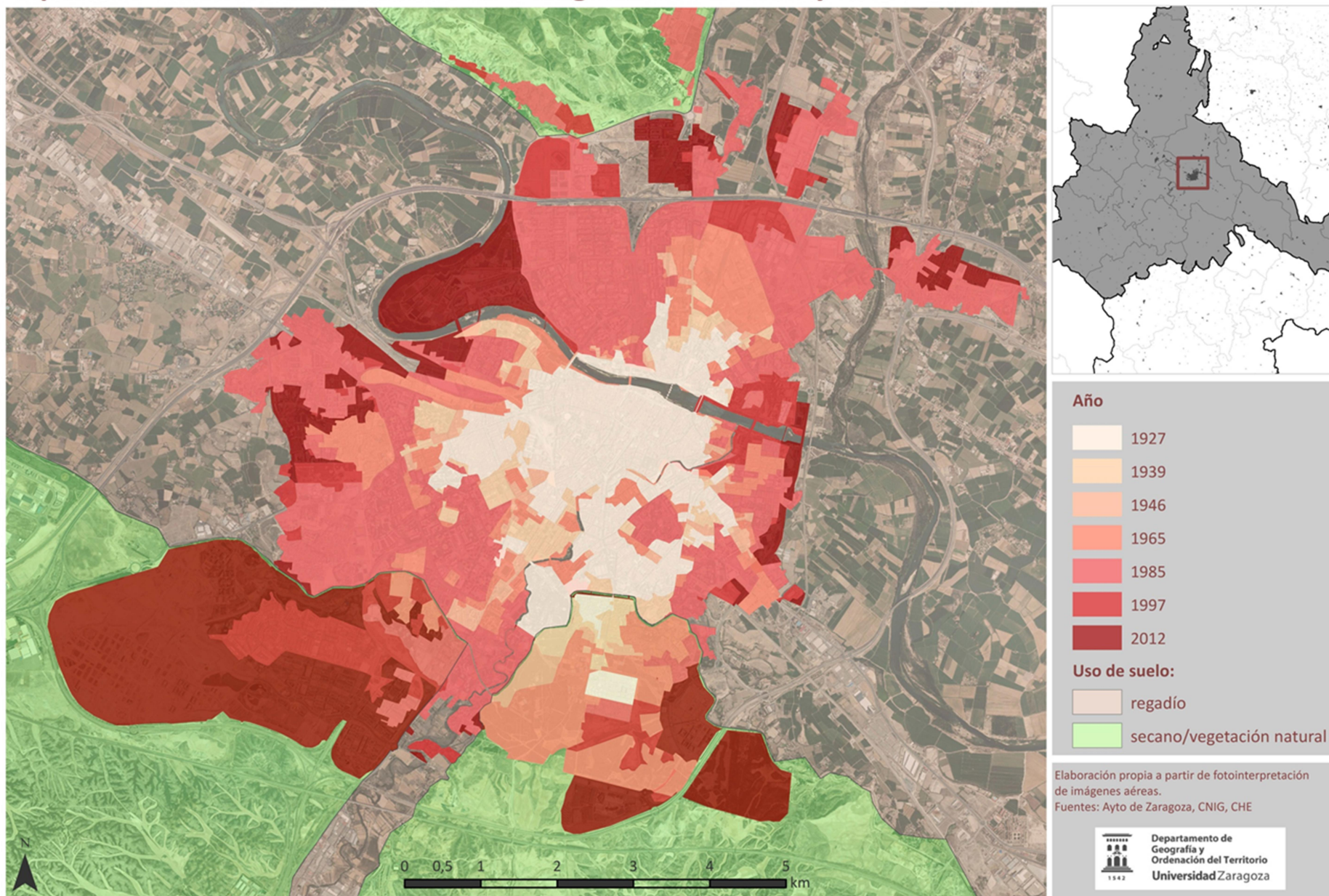


Figura 5. Expansión urbana de la ciudad de Zaragoza entre 1927 y 2012.

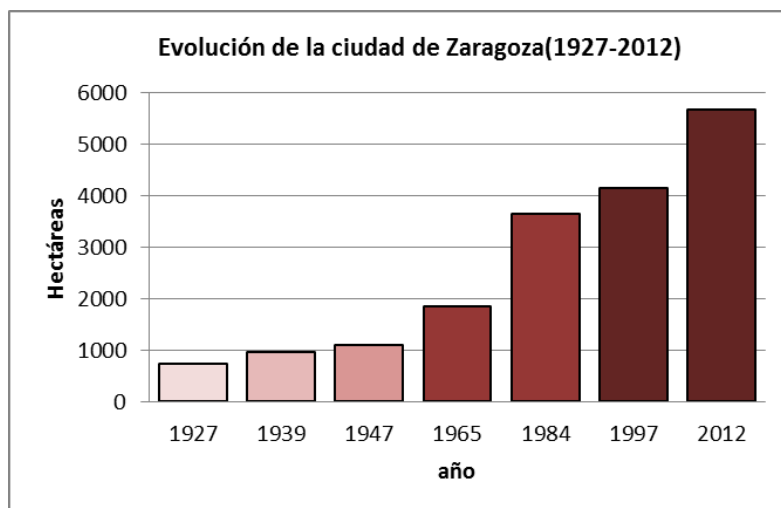


Figura 6. Evolución de la superficie de la ciudad de Zaragoza, en ha (1927-2012).

La cartografía y el gráfico (figuras 5 y 6) nos sirve para observar el crecimiento urbano (ha) entre los años de estudio y además hacia donde se dirige ese crecimiento. El núcleo interno de la ciudad es de 1927 o anterior junto a equipamientos urbanos que estaban fuera de él como la depuradora de agua o el cuartel de Domingo Miral. En 1939 y 1947, la ciudad no tiene un gran avance, y el existente se focaliza hacia el sur debido a la creación de los ensanches y al crecimiento de los barrios periféricos. Es en 1965 en donde se empieza a ver un despegue que se consolida en 1984 debido al PGOU de 1968, en el cual se planifica la consolidación de los barrios que crecen en 1965 de manera anárquica. Además, en 1984 el ACTUR está ya en construcción, lo que incorpora una gran cantidad de área urbana (ha) a la gráfica. Otra gran expansión urbana visible en las figuras 5 y 6 es en 2012, cuando barrios de nueva creación como Arcosur, Valdespartera, Parque Goya o la zona Expo producen que haya un gran salto cuantitativo en cuanto a área urbanizada se refiere.

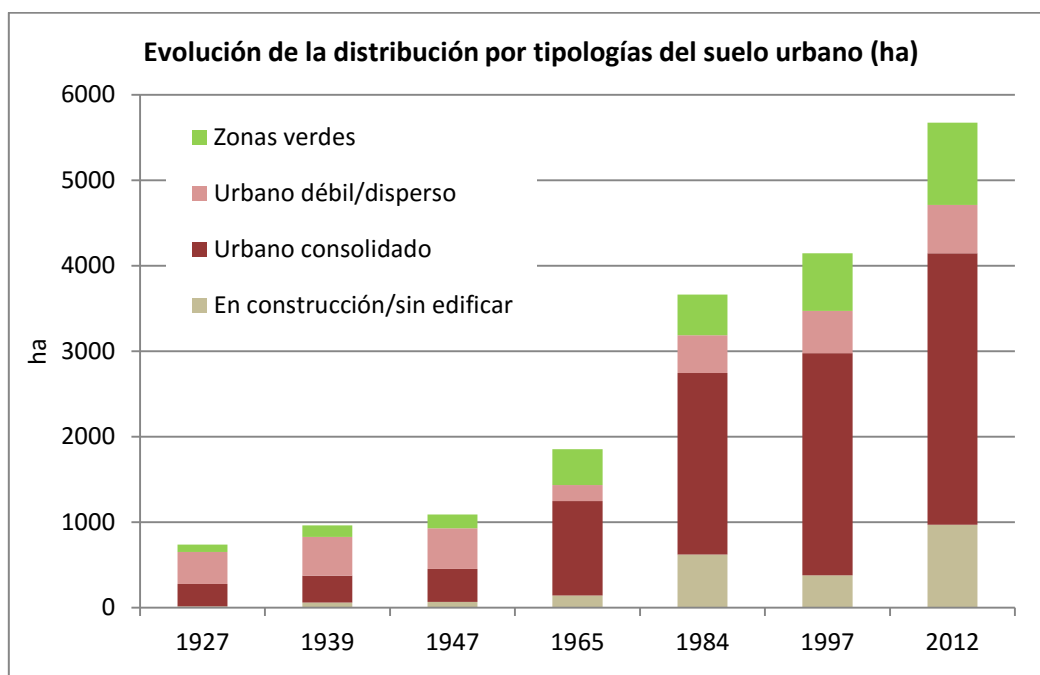


Figura 7. Evolución de la distribución por tipologías del suelo urbano, en ha (1927-2012).

La expansión urbana vista anteriormente, la podemos dividir no solo en cuánto ha crecido la ciudad globalmente, sino también en cómo lo ha hecho basándonos en la clasificación topológica de suelo urbano (ver figura 7). En los primeros años el urbano débil o disperso ocupaba la mayor parte de la tipología urbana hasta que en 1965 el modelo urbano de Zaragoza cambia a un urbano consolidado, el cual se mantiene hasta la actualidad. Esto se debe a que gran parte de los barrios obreros, que hasta esa fecha eran zonas urbanizadas de pequeñas casas con terreno ajardinado, pasan a ser edificaciones de alto porte. Este hecho convierte a Zaragoza en una ciudad donde predomina lo consolidado. Es reseñable también la gran proporción de zonas en construcción que encontramos en los últimos años, destacadas sobre todo en 1984 y 2012. Esto se debe a grandes proyectos urbanos: ACTUR en 1984 y Arcosur en 2012.

A continuación se va a englobar los años de estudio en etapas homogéneas entre sí, donde el crecimiento de la ciudad es atribuible y responde a un comportamiento propio de carácter social, político y/o económico homogéneo en cada etapa.

5.1.1 1927-1939: Los inicios de la expansión urbana

La industrialización marca esta etapa. La demanda de mano de obra provoca la llegada de habitantes a la ciudad y con ella la urbanización anárquica y desordenada la cual es visible en los barrios periféricos de nueva creación. Exceptuado algún periodo de crisis, este periodo se caracteriza por un auge económico que se refleja en la urbanización de la ciudad hasta la llegada de la Guerra Civil Española. Es el comienzo de la construcción de los Ensanches.

En el mapa de 1927 (figura 8) vemos una ciudad consolidada que comprende el centro histórico de la ciudad y que en los últimos años ha crecido por el Paseo Independencia y la huerta de Santa Engracia en donde aún hay edificios del Ensanche en construcción. Aquí ya se empieza a vislumbrar un avance de la ciudad hacia el sur. Esto se debe a dos factores claves: el cubrimiento del Huerva a principio de la década de los 20 y la creación de un Plan de Ensanche en 1925. Como ejemplo, se puede observar ya la planificación de Gran Vía y Fernando El Católico, en donde, aunque aún rodeado de cultivos, encontramos ya las dos grandes Avenidas.

Por otro lado cabe destacar el gran peso del urbano disperso. Este se localiza siguiendo el trazado de las carreteras, caminos y estaciones de ferrocarril que salen de la ciudad de manera radial, debido a que son zonas de llegada de nueva población y donde esta levantaban sus asentamientos. Encontramos en la carretera de Cataluña el Barrio de Jesús, en la de Castellón el de San José, en la de Madrid las Delicias y por último Torrero, que ya data su existencia de varios siglos atrás. En relación a las zonas verdes, ya existía el Parque Primo de Rivera, finalizado su levantamiento en 1927. Otras zonas verdes destacables son el Parque Pignatelli, la arboleda de Macanaz, Balsas de Ebro Viejo (actual Parque del Tío Jorge) y la Plaza de Los Sitios.

En resumen, en las primeras décadas de nuestro estudio, aparte de la creación de los ensanches de Miraflores y Miralbueno, el crecimiento urbano se manifiesta a partir de las estaciones de ferrocarril, las industrias y las vías de comunicación. En otras palabras, en las zonas donde más facilidad para construir tenían los nuevos vecinos de Zaragoza.

Zaragoza en 1927. Tipología de suelo urbano

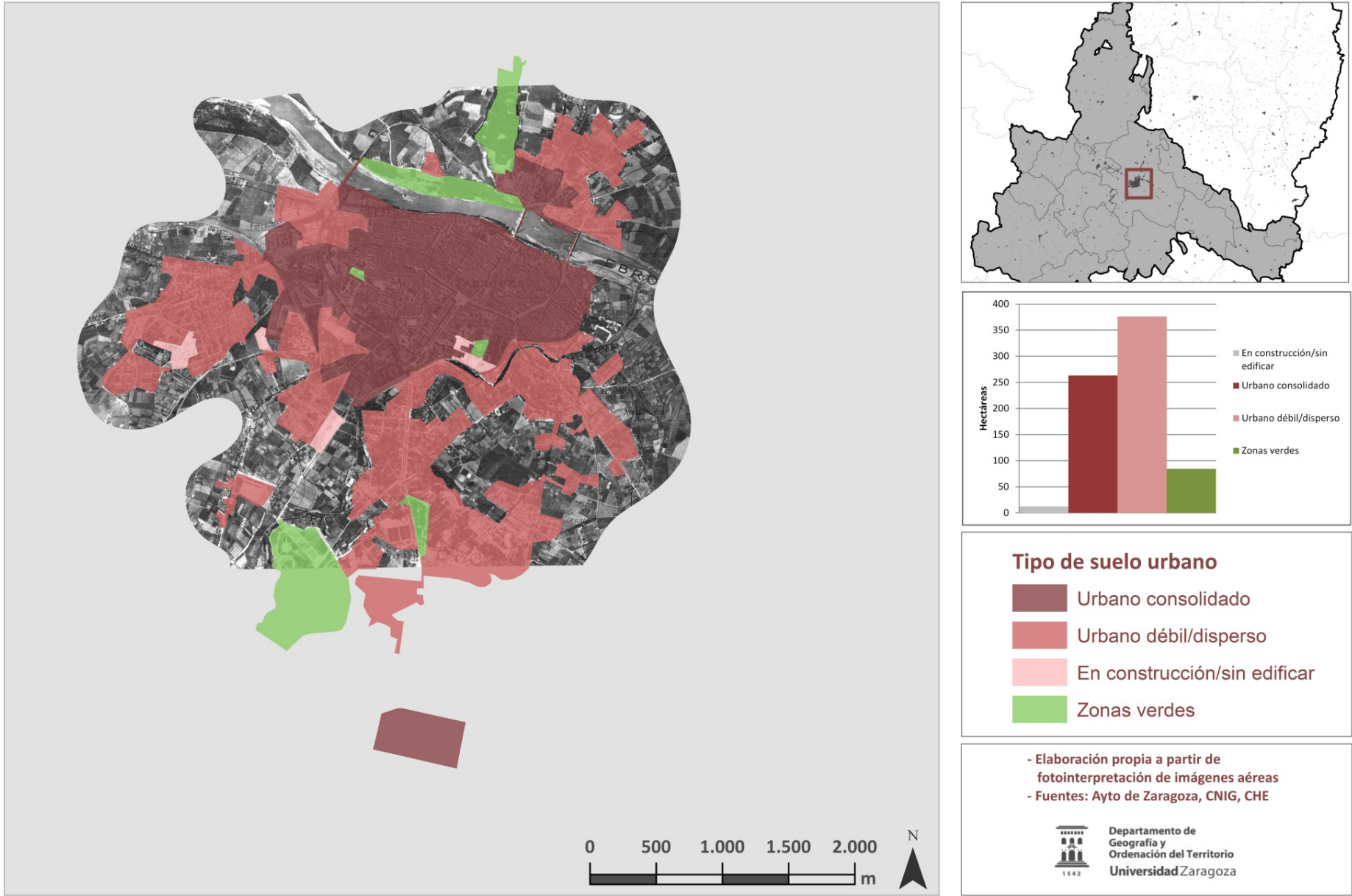


Figura 8. Zaragoza en 1927. Tipología de suelo urbano.

Zaragoza en 1939. Tipología de suelo urbano

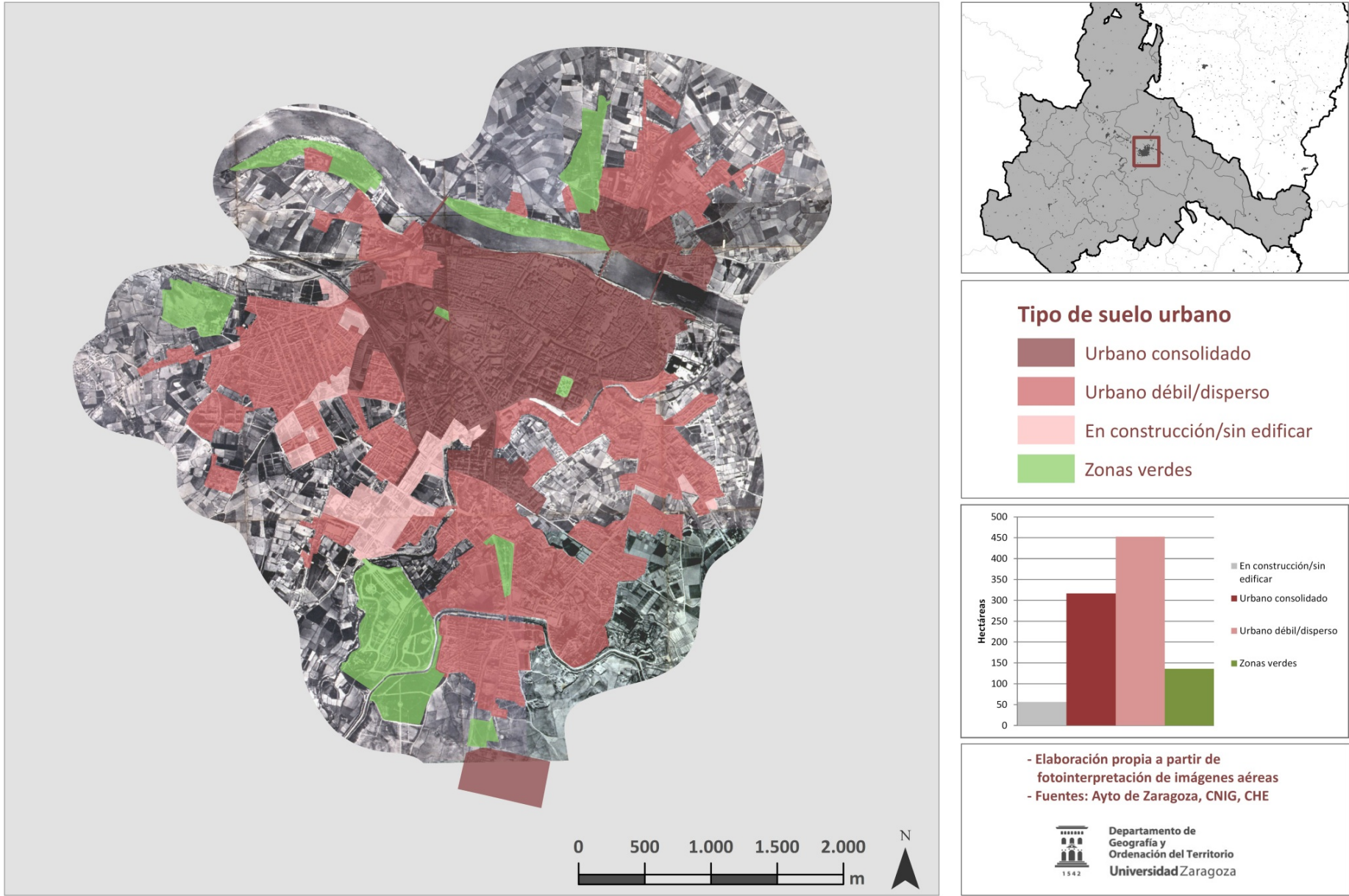


Figura 9. Zaragoza en 1939. Tipología de suelo urbano.

Como conclusión de esta primera pequeña etapa se muestra la cartografía de 1939 (figura 9) año en el que comienza el Franquismo. El aspecto de Zaragoza en 1939 es semejante al que nos encontramos en 1927. Sin embargo hay varios aspectos relevantes a tener en cuenta:

- El urbano débil y disperso correspondiente a los barrios de origen radial (San José, Torrero, Delicias, la Margen Izquierda, etc.) sigue esparciéndose y “rellenando” los espacios vacíos que entre ellos había.
- El Plan de Ensanche de 1925 que preveía la construcción del Ensanche de Miraflores y Miralbueno se está realizando (zonas en construcción del eje Gran Vía-Fernando el Católico). A su vez se construyen viviendas sociales, como la Ciudad Jardín.

5.1.2 1947-1984: De la autarquía a la Transición pasando por el Desarrollismo

Una vez acabada la Guerra Civil y sumida España en una feroz posguerra que la cierra al mundo, el país tiene que sobrevivir con una autarquía económica. En estos años, la ciudad de Zaragoza no tiene un gran crecimiento y todas las obras que se realizan suelen ir destinadas a las reparaciones de los daños provocados por el levantamiento del dictador Franco. Más tarde, en la década de los 60, llega la apertura internacional al recibir España el apoyo de Estados Unidos. Con una mejor situación económica se abre el periodo Desarrollista, en donde producto de los Planes de Desarrollo llega a Zaragoza la inmigración procedente del campo, lo que supone un “boom” en el crecimiento urbano. Este crecimiento se realiza de forma caótica y hoy en día aún se pueden apreciar sus efectos negativos en desequilibrios urbanos existentes en algunos barrios de la ciudad. Es ya en las décadas de los 70 y 80 cuando se intenta paliar con poco éxito estos desequilibrios así como cohesionar entre sí todos los barrios que crecieron en esta época. Con la muerte de Franco y el cambio de sistema político cambia también el modo de planificar la urbe, donde se dará un giro hacia la participación ciudadana y el crecimiento más racional de la ciudad finalizando la etapa con la creación del ACTUR. Esta etapa, aunque heterogénea, la podemos diferenciar del resto por ser el despegue urbano de la ciudad. Si de una película u obra literaria se tratara, la primera etapa sería la introducción, y esta el nudo, quedando por ver el desenlace.

La Zaragoza de 1947 es muy parecida a la de 1939. Aunque entrados ya en el régimen Franquista, se siguen estableciendo los planeamientos urbanos que se daban en la República. Entre las décadas de los años 40 y 60, las principales modificaciones son la reforma interior del casco urbano, el desarrollo del eje Gran Vía, la finalización de la Ciudad Universitaria o la creación de equipamientos como la Feria de Muestras, la Casa Grande o el Estadio de La Romareda.

Con la llegada de los años 60 y el Desarrollismo el panorama cambia totalmente. La gran cantidad de población que llega del campo y la creación del Polo de Desarrollo en 1964 dan un impulso total a la ciudad que se verá plasmado en las siguientes décadas. El desarrollo del transporte público afecta positivamente al crecimiento de los barrios periféricos, los cuales se siguen construyendo de manera caótica y espontánea. Además es el comienzo de la construcción de nuevos barrios como las Fuentes, la Almozara (la Química), la Margen Izquierda y la consolidación de otros ya existentes como San José, Torrero, Delicias o Valdefierro.

Zaragoza en 1947. Tipología de suelo urbano

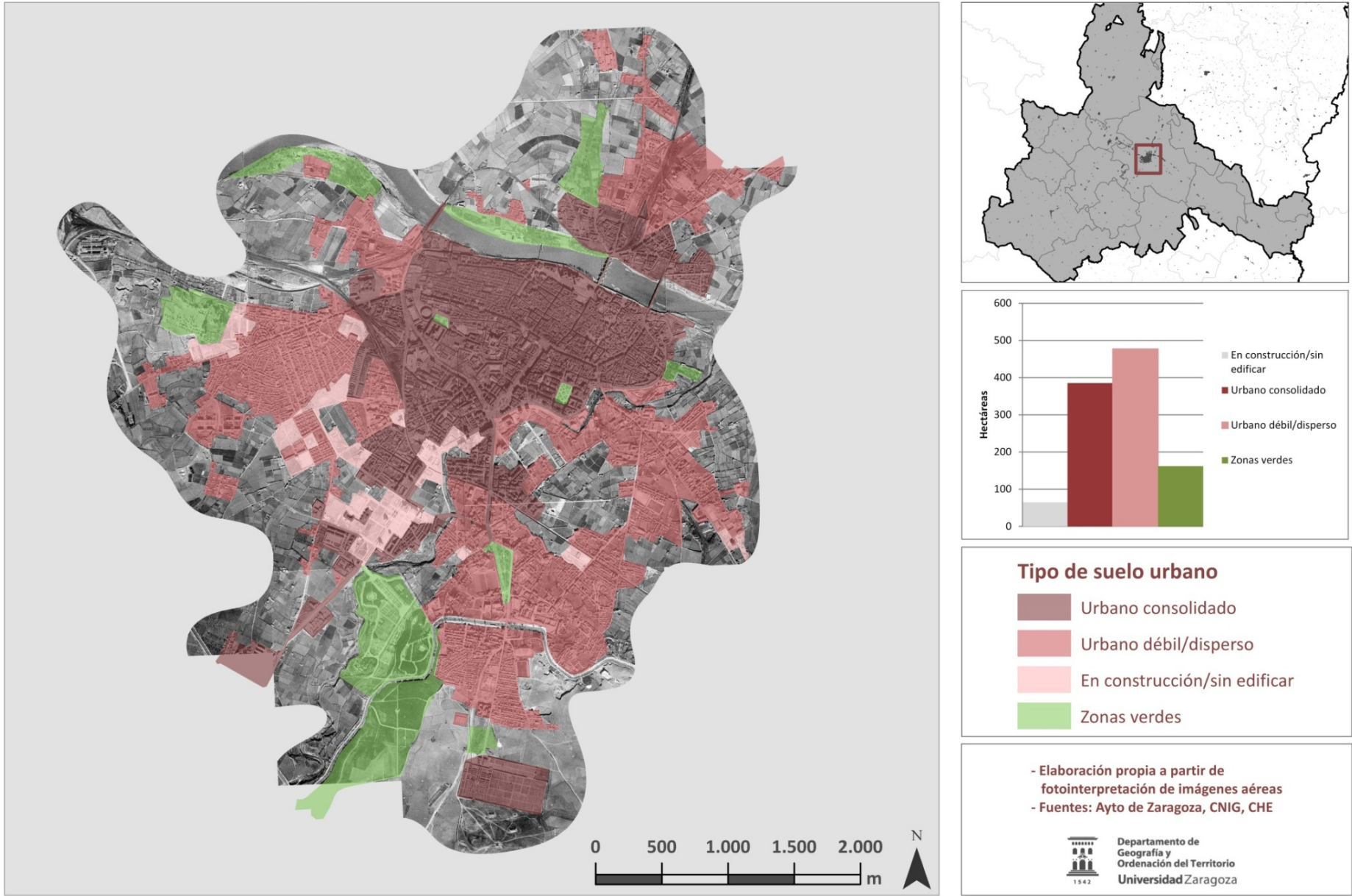


Figura 10. Zaragoza en 1949. Tipología de suelo urbano.

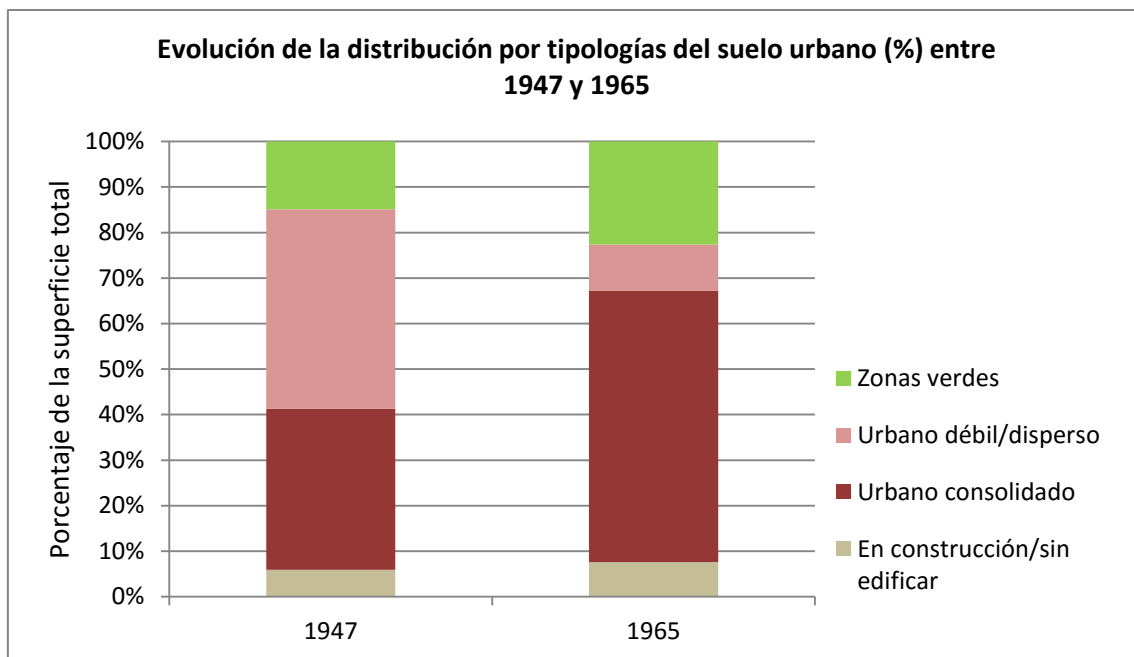


Figura 11. Evolución de la distribución por tipologías del suelo urbano, en porcentaje (1947 y 1965).

Como se puede observar en la figura 11, 1965 supone el cambio entre una ciudad antigua como la que encontramos en 1947 hacia una ciudad consolidada, donde el urbano débil o disperso desaparece por la conversión de los barrios periféricos a barrios consolidados.

Tal y como se puede observar en el mapa de 1965 (figura 13) los principales hitos reseñables son el crecimiento de la ciudad acompañado de la consolidación de la misma y de los barrios periféricos. Se puede observar como Torrero se cierra con la urbanización de La Paz configurándose su forma actual, empieza a surgir el barrio de Las Fuentes (Grupo Girón), Gran Vía y sus prolongaciones llegan consolidadamente hasta el Hospital Militar, y la Margen Izquierda se empieza a industrializar con fuerza (está en construcción el polígono industrial de Cogullada, hito que marca el comienzo desarrollista de la ciudad).

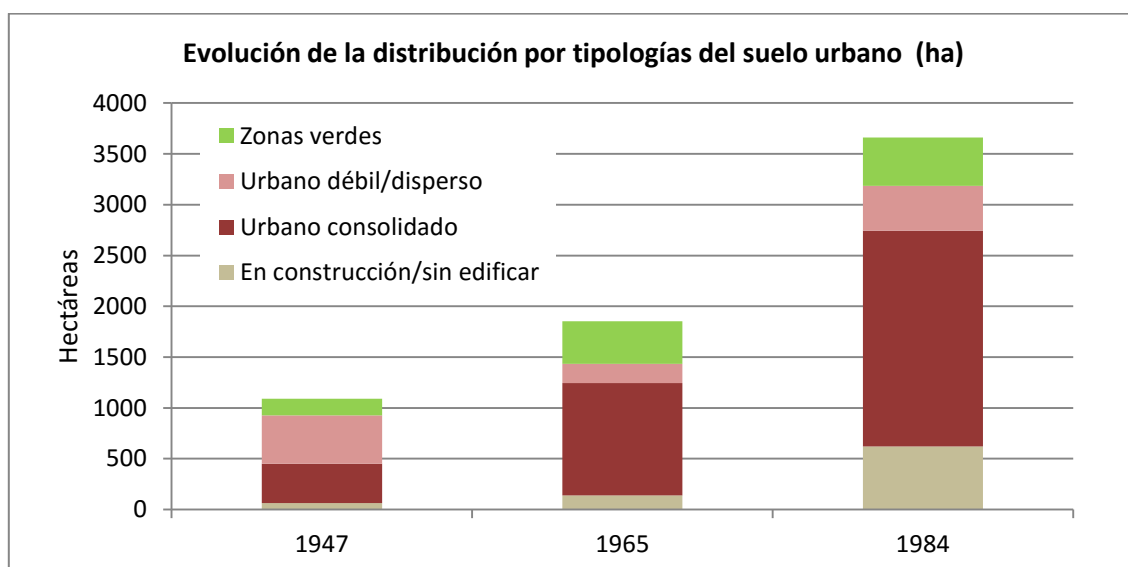


Figura 12. Evolución de la distribución por tipologías del suelo urbano, en ha (1947, 1965 y 1984).

Zaragoza en 1965. Tipología de suelo urbano

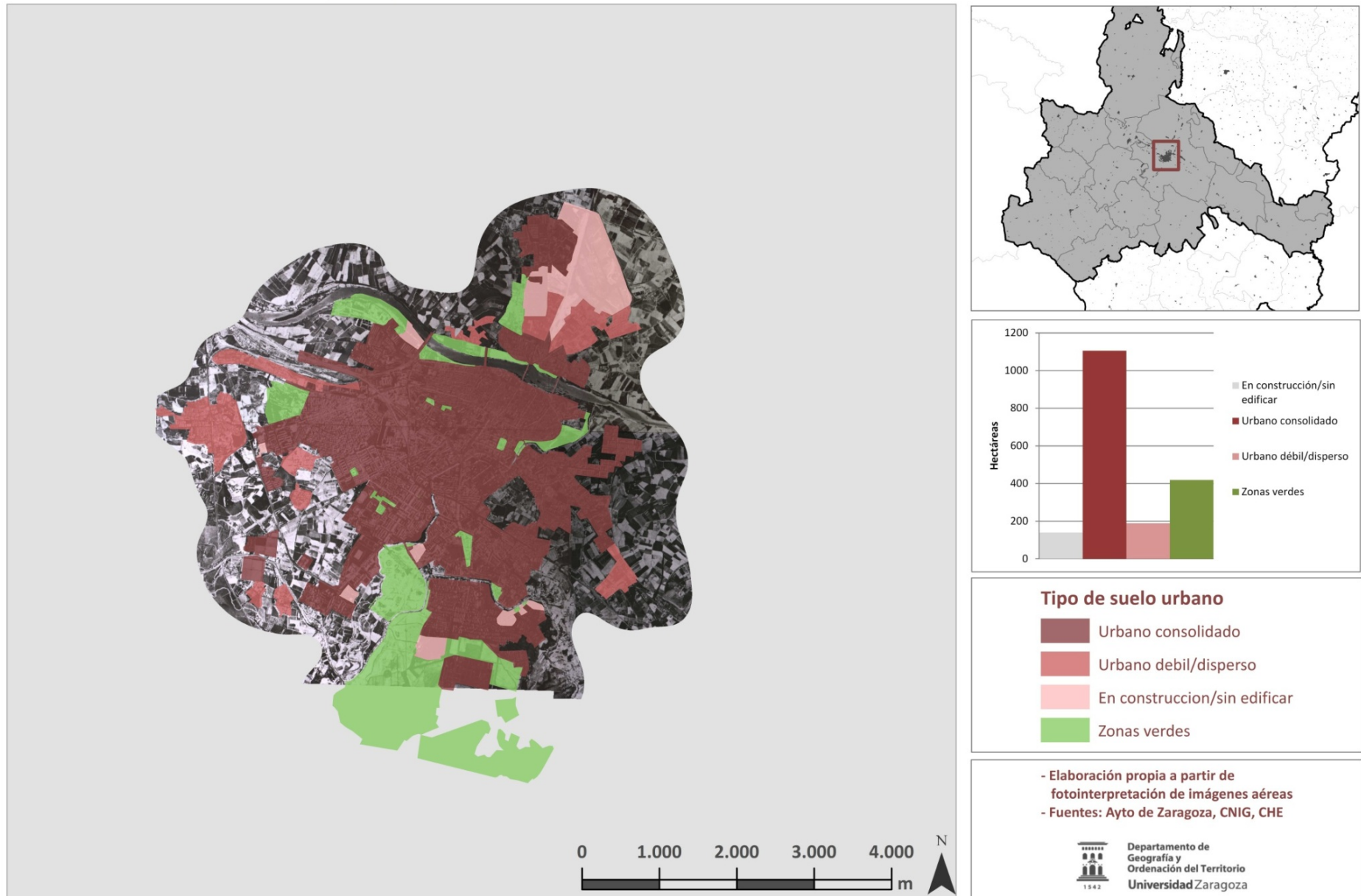


Figura 13. Zaragoza en 1965. Tipología de suelo urbano.

Zaragoza en 1984. Tipología de suelo urbano

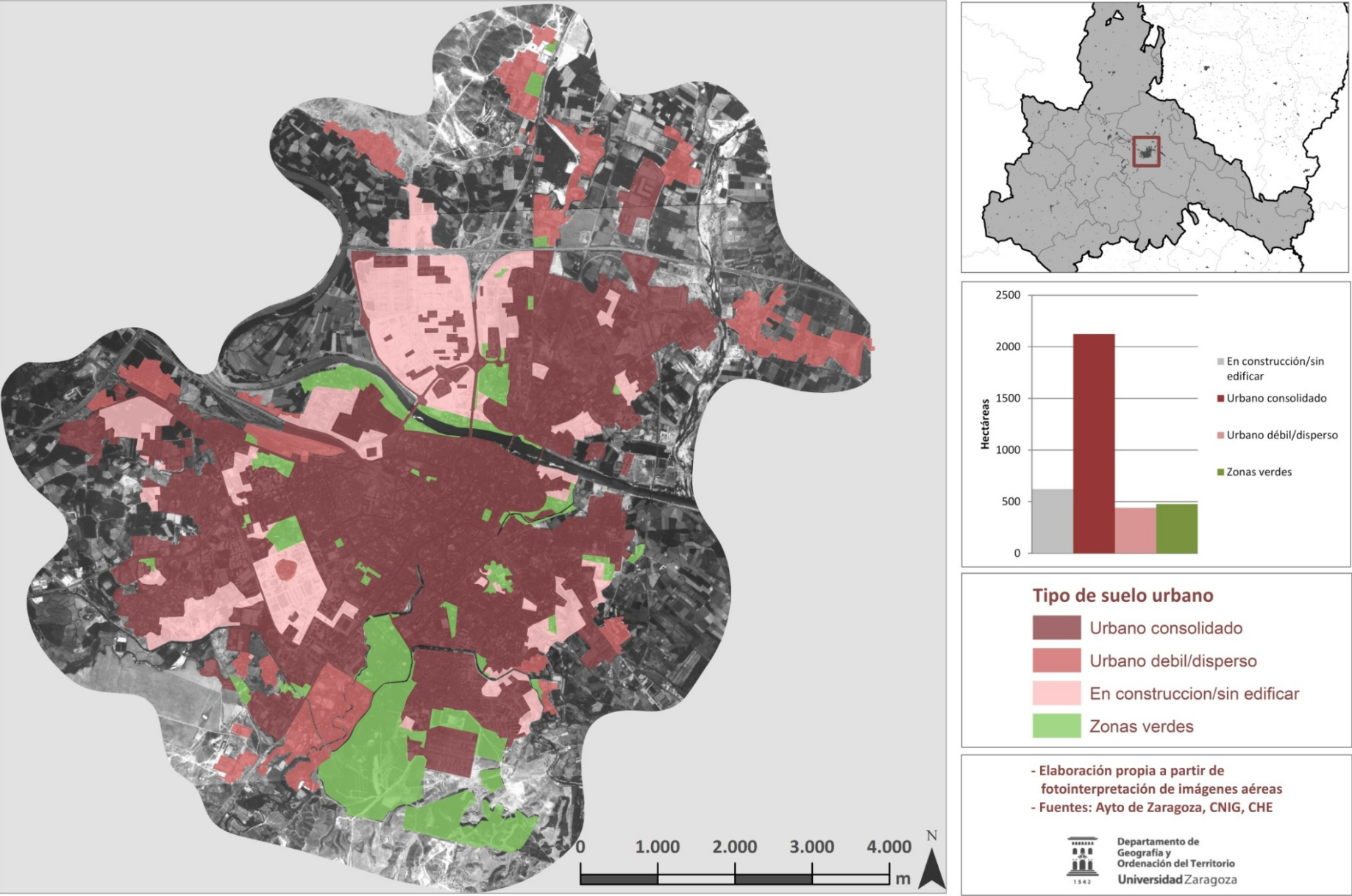


Figura 14. Zaragoza en 1984. Tipología de suelo urbano.

En 1968 se aprueba el PGOU de Emilio Larrodera, que va encaminado a solventar los problemas provocados por la caótica expansión urbana, así como unificar de manera racionalista las expansiones periféricas.

Con el inicio a mediados de los años 70 de la Transición, la ciudad se ve afectada por la crisis del petróleo, iniciándose la reconversión industrial. En esta etapa se planea y empieza a construir el ACTUR, que marcará el salto definitivo de la Zaragoza consolidada a la otra orilla del Ebro. Como se puede ver en el mapa de 1984 (figura 14) el ACTUR es uno de los hitos más destacables visualmente por su gran tamaño, pero también encontramos la construcción de otras grandes zonas como la Romareda, el final de las Fuentes-San José o la segunda fase de la Almozara. Otro aspecto destacado es que el gran crecimiento de la ciudad provoca la fagocitación de los barrios rurales, que se ven unificados al medio urbano. Es el ejemplo de Juslibol, Santa Isabel, San Gregorio, o la zona de la Fuente de la Junquera, lo que hace que aumente de manera considerable el urbano débil o disperso que se había perdido en 1965 con la consolidación de los barrios periféricos. Con las zonas que encontramos en construcción junto a otras que entre 1965 y 1984 ya se han construido se cerrará definitivamente los vacíos urbanos e “islas de cultivo” que aún quedaban dentro de la ciudad.

5.1.3 1984-2012. La ciudad en Democracia: hacía una ciudad del Siglo XXI.

Este último periodo supone el “desenlace” temporal del crecimiento urbano de Zaragoza abarcado en el presente trabajo. La etapa comienza con el PGOU de 1986 que supone un crecimiento ordenado de la periferia apoyado en planes parciales. Es el paso que se da para la creación de zonas como Santa Isabel, Parque Goya, Villamayor, la zona de la Estación del Norte, hasta entonces suelo industrial en deterioro provocado por la reconversión industrial, Miralbueno o Montecanal. También se construyen infraestructuras como centros comerciales (Pryca, Augusta, Grancasa, Alcampo-Utrillas...), la nueva Feria de Muestras, puentes como el de la Unión o el Auditorio y la Sala Multiusos.

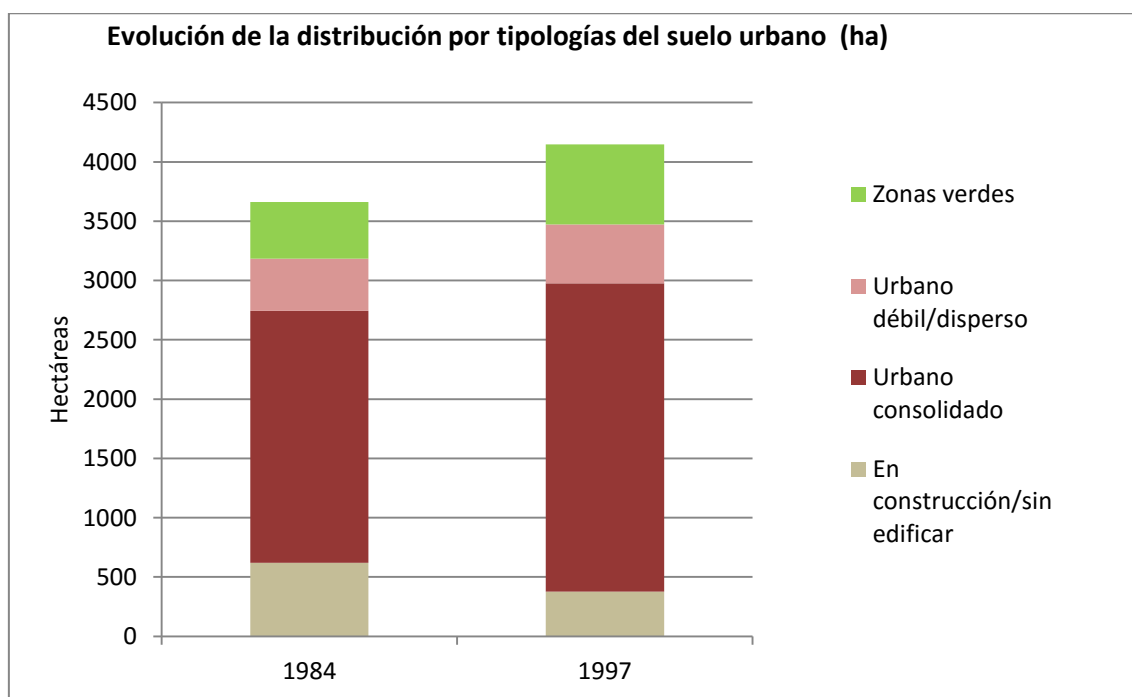


Figura 15. Evolución de la distribución por tipologías del suelo urbano, en ha (1984 y 1997).

Zaragoza en 1997. Tipología de suelo urbano

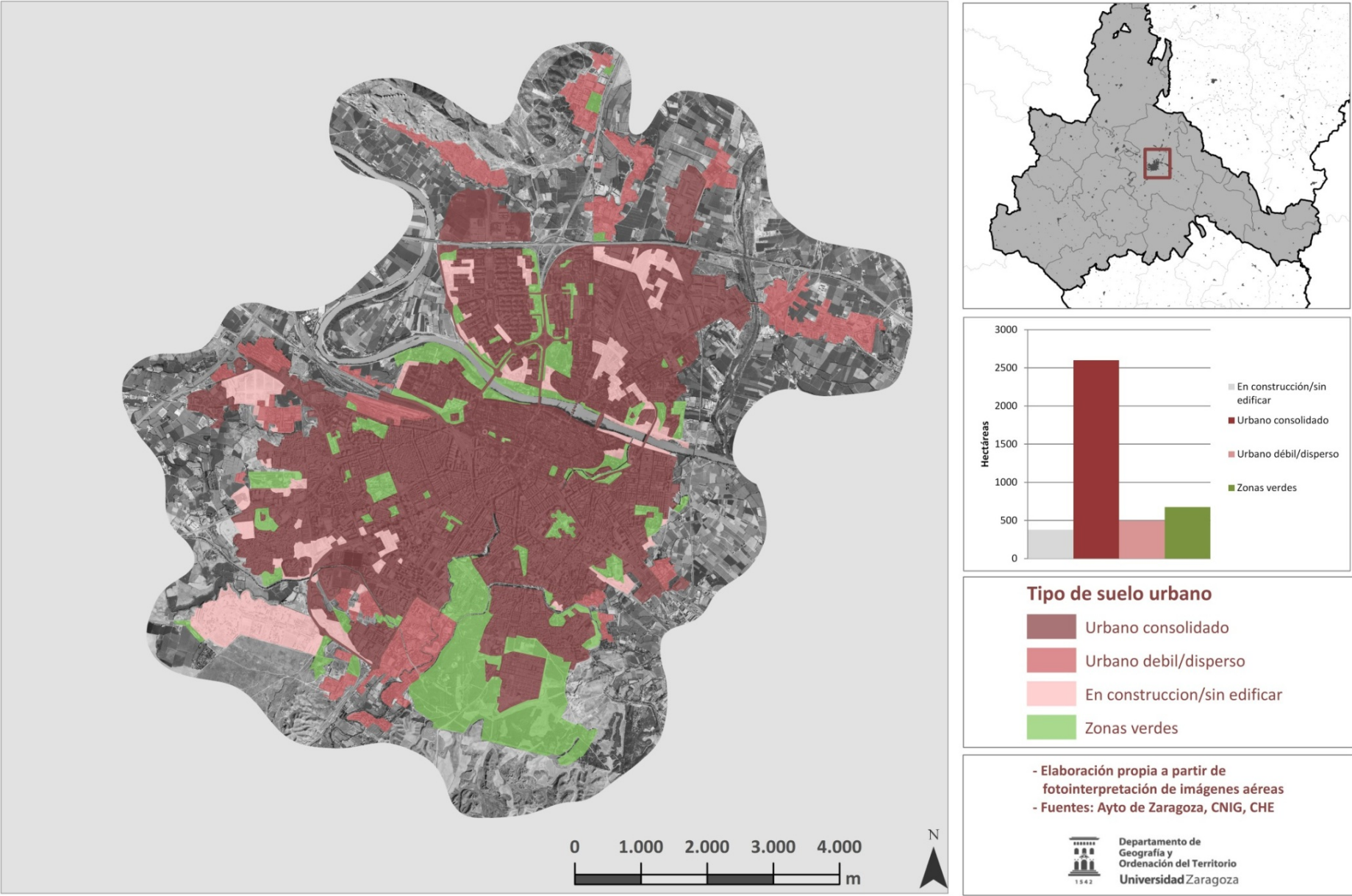


Figura 16. Zaragoza en 1997. Tipología de suelo urbano.

Zaragoza en 2012. Tipología de suelo urbano

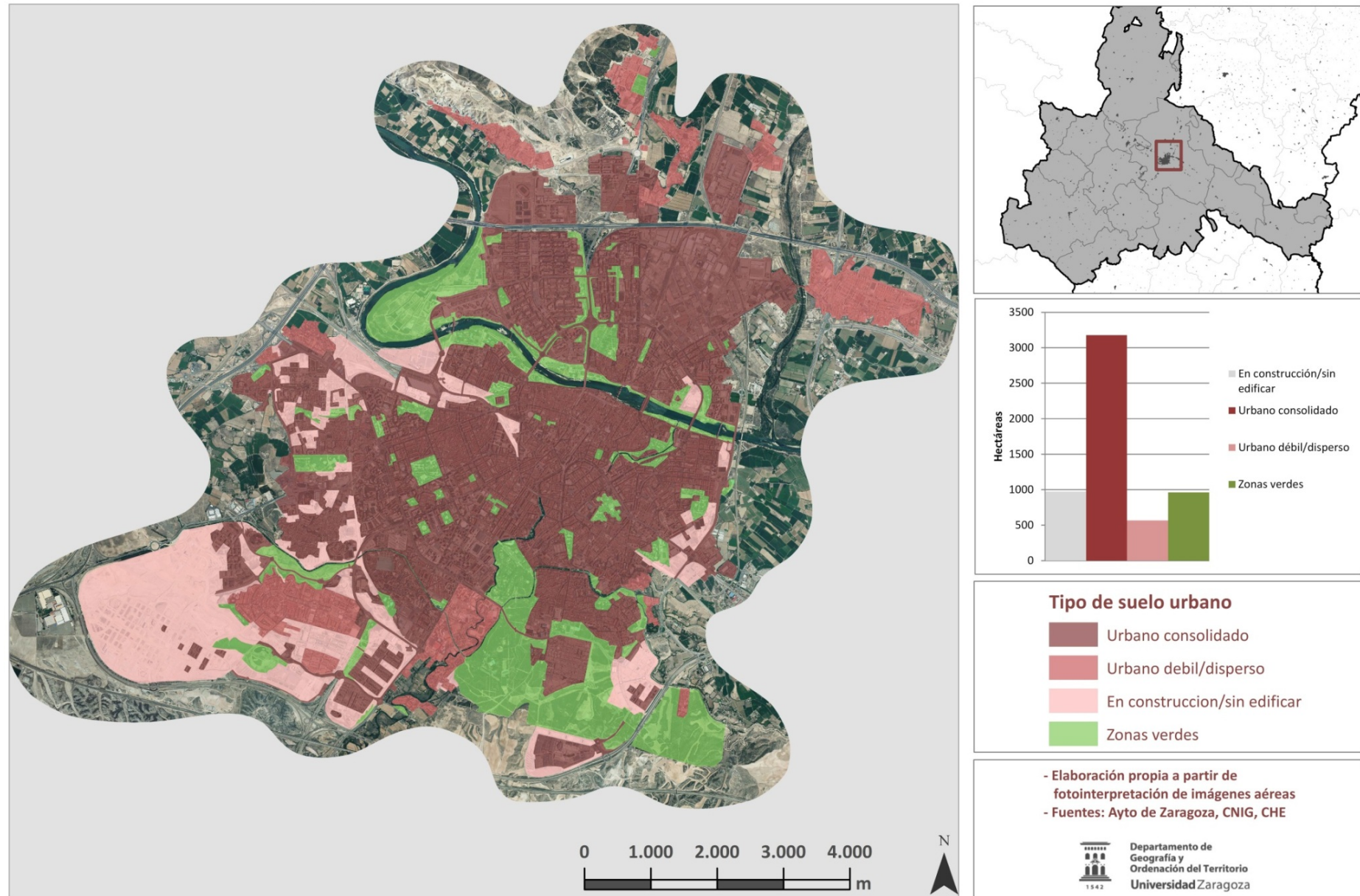


Figura 17. Zaragoza en 2012. Tipología de suelo urbano.

Como se puede observar en la figura 15, aunque el espacio construido aumenta en tamaño, la distribución de las tipologías de suelo urbano en estos años es muy parecida. Las únicas diferencias son el tamaño del urbano en construcción en 1984 debido a la creación del ACTUR, que en 1997 pasa a ser urbano consolidado y zonas verdes. En estos años también crece el urbano débil y disperso debido a la creación urbanizaciones y viviendas ajardinadas periféricas, como Montecanal.

Entre los años 1997 y 2012 se aprueba la revisión del PGOU de 1986 (en 2001), que preveía un aumento de población que no se dio, por lo que el parque de viviendas creció a un ritmo mayor que el censo, por lo que se generó un gran número de viviendas sin ocupar. Desde finales de los 90 se plantean una serie de proyectos que se llevarán a cabo en esta etapa y que podemos observar en el mapa de 2012. Estos son la Estación Delicias, la ordenación del Meandro de Ranillas, que culminará con el recinto de la Expo de 2008, centros comerciales como Puerto Venecia o Aragonia, el Tercer Cinturón, Parque Goya, Valdespartera o el aún vacío y con poco futuro a corto plazo: Arcosur. Es este último elemento, el que se puede observar como la gran zona en construcción que encontramos en el suroeste de la ciudad, y que le da a las gráficas una considerable proporción de hectáreas en construcción.

Otro elemento que aumenta considerablemente son las zonas verdes. La Exposición Internacional de 2008 vino acompañada de planes para la creación de zonas verdes como el Anillo Verde, la recuperación para la ciudadanía de las riberas del Ebro y del Huerva o el Parque del Agua, que dotan a la ciudad con una buena proporción de parques y jardines.

5.2 EVOLUCIÓN DE LA PRESENCIA VEGETAL EN LA CIUDAD ENTRE 1972 Y 2012

De modo introductorio, se puede afirmar que el comportamiento de esta clase de ocupación urbana ha crecido desde 1927 al igual que la ciudad, pero con el cambio de los modos de vida y las demandas ciudadanas de las últimas décadas, que buscan zonas de relax, así como zonas que impliquen conceptos como naturaleza, bienestar o salud ha hecho que los parques, jardines o arbolado de las calles hayan tenido un aumento mayor que en los primeros años de nuestro estudio, cuando la expansión urbana se concebía como algo únicamente funcional, en donde poder vivir y trabajar sin pensar en el tiempo libre o el medioambiente. Esta parte de resultados va encaminada a estimar la evolución de la vegetación urbana en la ciudad; para ello se ha elaborado el cálculo de NDVI a partir de imágenes Landsat de los años 1972, 1984, 1999 y 2012.

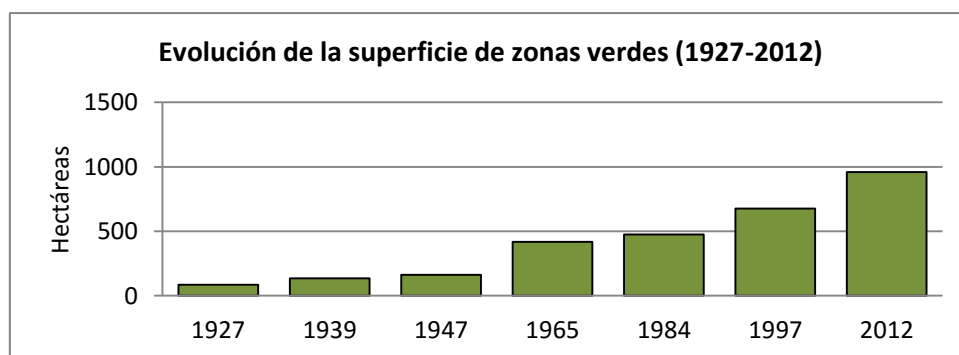


Figura 18. Evolución de la superficie de zonas verdes, en ha (1927-2012)

Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 1972

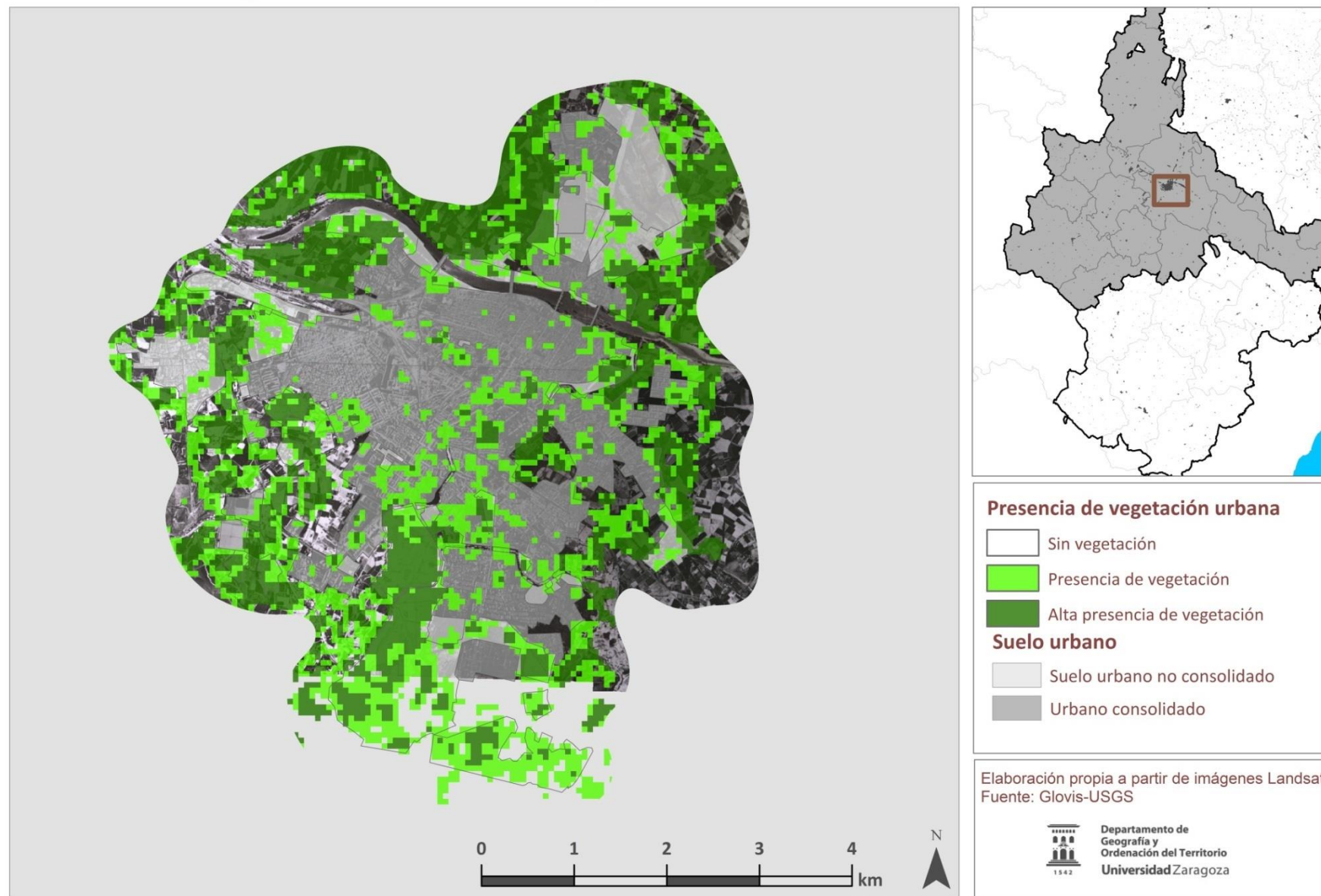


Figura 19. Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 1972.

Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 1984

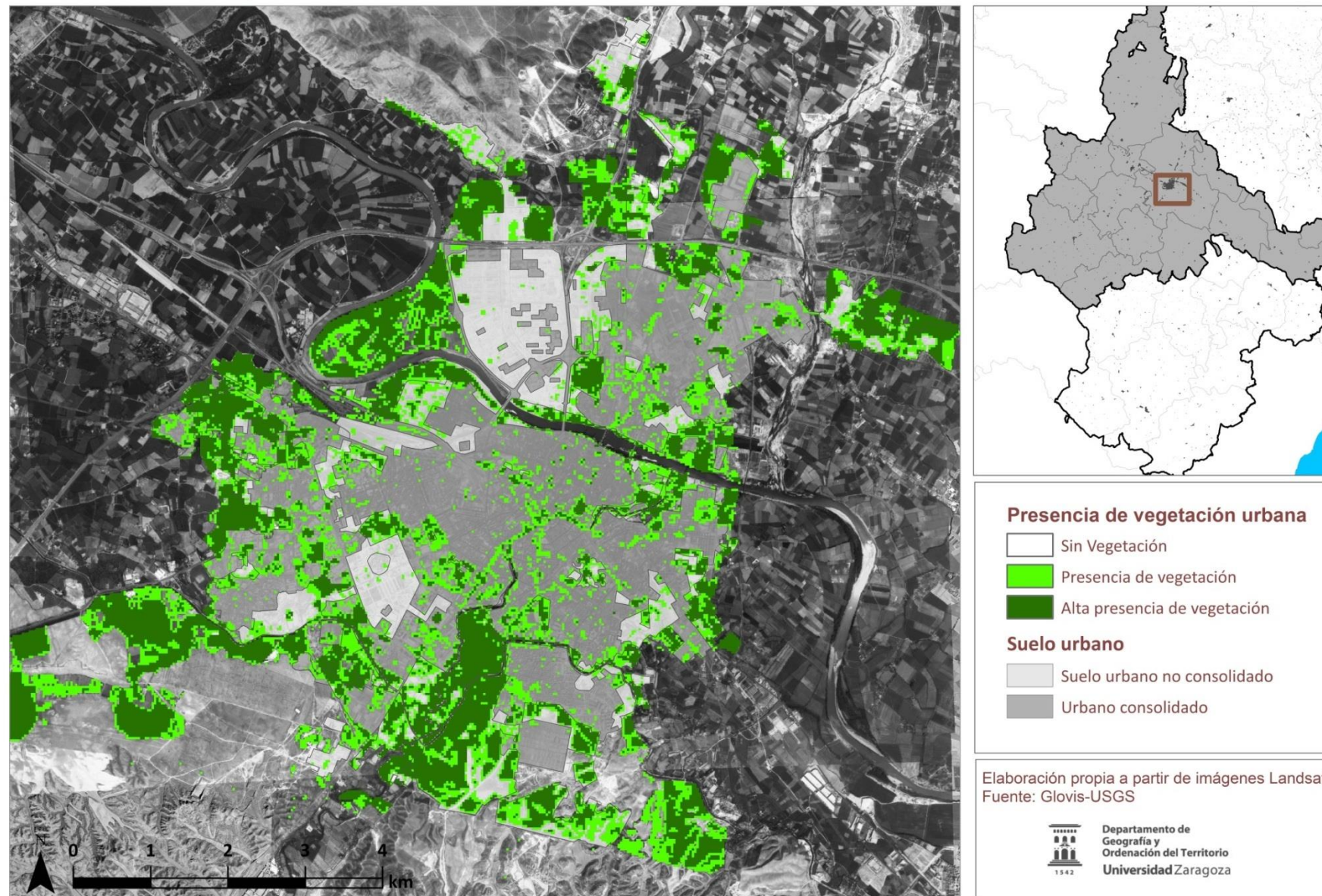


Figura 20. Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 1984.

Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 1999

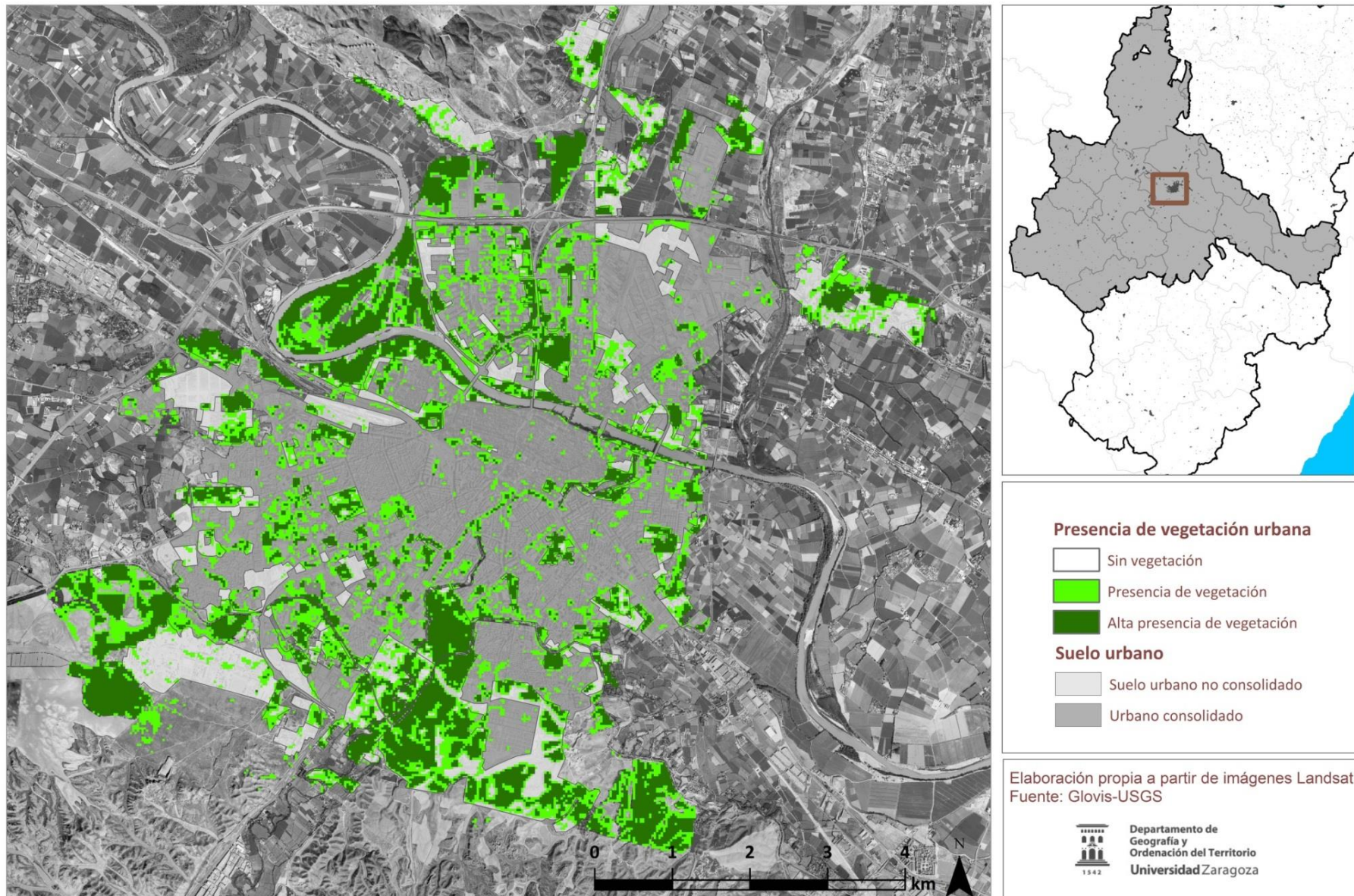


Figura 21. Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 1999.

Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 2012

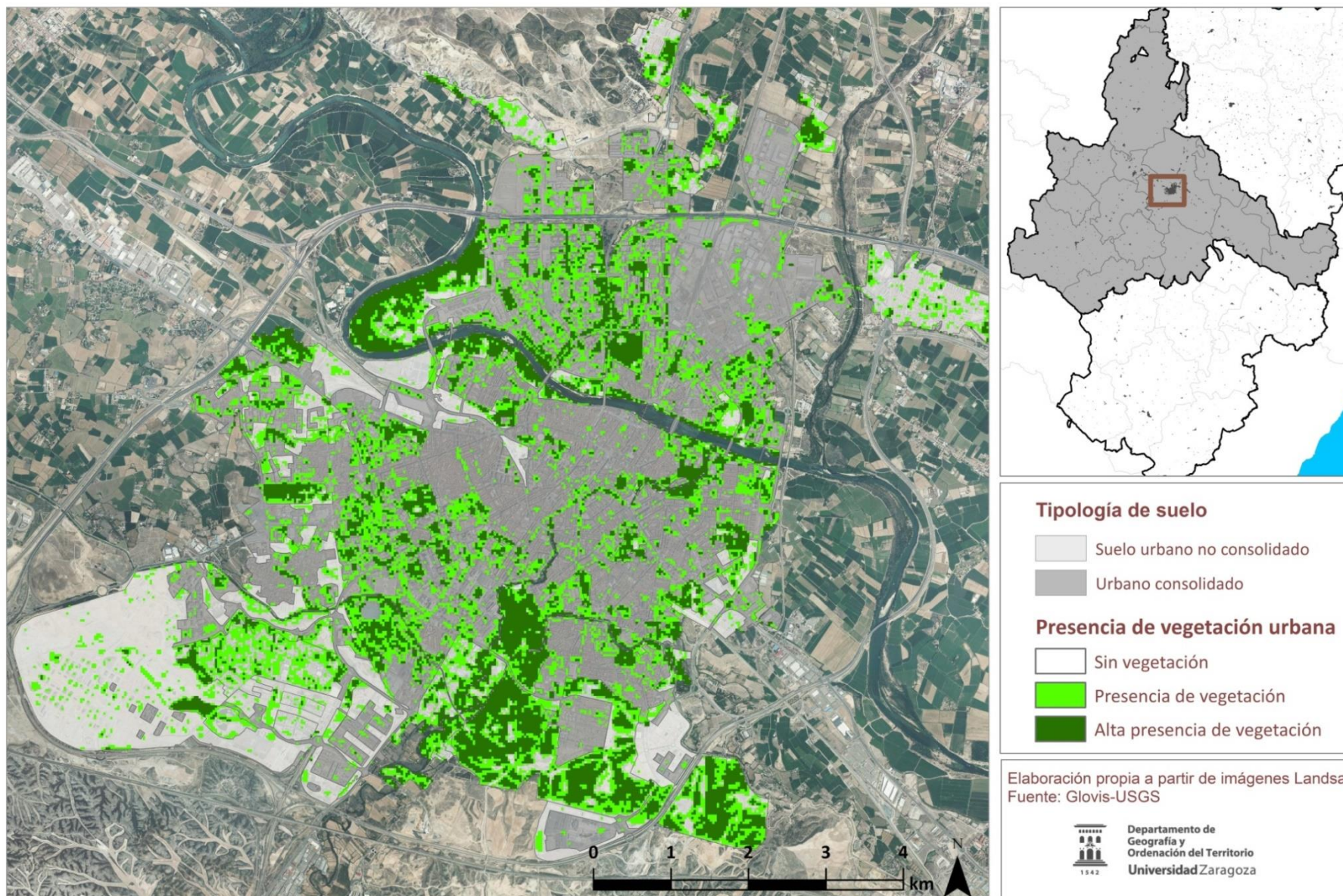


Figura 22. Presencia de vegetación urbana en Zaragoza. 2012.

Se pueden observar varias dinámicas en la evolución de la presencia de la vegetación urbana con el transcurso de los años:

- Con el avance de la ciudad se pierde vegetación de alto vigor vegetal. La expansión urbana entre 1972 y 2012 hace que las zonas verdes crezcan (ya que contabilizamos en nuestro estudio sólo la vegetación antrópica). Sin embargo en términos generales, se pierden zonas de cultivo de alto rendimiento (regadío). Ejemplos claros son la expansión de la ciudad entre 1972 y 1984 donde al construirse la Almozara, la Romareda y el ACTUR, unas zonas con grandes rendimientos agrícolas se asfalta con los perjuicios que ello puede conllevar.

Otro ejemplo claro es el meandro de Ranillas y el cambio en el uso del suelo (de agrícola a urbano) visible en los mapas de 1999 y 2012, en donde con la construcción de la Expo se pierde otra zona con gran potencial agrícola.

- Otro aspecto a destacar es la evolución de la vegetación de los barrios construidos en estos años de estudio en comparación con los creados antes de 1972. Si observamos barrios como Montecanal, el ACTUR, las zonas nuevas más nuevas de las Fuentes, la Romareda, o el eje de Vía Hispanidad, vemos que el planeamiento urbano deja cabida para la construcción de zonas verdes y vías arboladas, en donde encontramos píxeles con presencia de vigor vegetal, ya sea por la existencia de parques y jardines o porque las calles se planifican de tal manera que tengan arbolado.

En contraposición, los barrios anteriores a la etapa democrática en España, observamos que hay poca presencia de vegetación; es el caso de las Delicias, todo el casco antiguo, San José, Torrero, el Barrio Jesús... Esto es debido a que la planificación urbana (o la ausencia de la misma) anterior a 1960 no se basa en estándares de calidad de vida o estética urbana, sino en la funcionalidad (viviendas para los obreros cercanas al lugar de trabajo). De la ausencia de zonas verdes solo podemos excluir aquellas zonas burguesas de la ciudad de principio de Siglo XX, en donde los equipamientos públicos y la estética urbana sí que se cuidaban (eje de Gran Vía, Ensanche de Santa Engracia, Paseo Independencia, Paseo de la Constitución, Paseo de Sagasta...), así como zonas que aun siendo obreras tenían elementos naturales o históricos que han primado sobre los antrópicos (riberas del Ebro, Balsas de Ebro Viejo, el Eje del Huerva que no fue soterrado, las zonas adyacentes al Canal Imperial...).

Como resultado final, encontramos una Zaragoza en 2012 en donde la presencia de vegetación es acentuada, aunque con desequilibrios por zonas tal y como se ha explicado anteriormente. Sin embargo en términos generales, este desequilibrio se ve solventado a partir de grandes zonas verdes cercanas a donde menos arbolado encontramos. Por ejemplo el casco antiguo, es una zona de confluencia de dos ríos, en donde sus riberas proporcionan esa presencia que falta dentro del barrio. La Margen Izquierda tiene un vigor vegetal palpable en el ACTUR y Zalfonada, así como el Parque del Agua o el del Tío Jorge, siendo menor o nula en la zona de Cogullada, y pequeña en la zona histórica del Arrabal-Barrio Jesús. En la margen derecha, encontramos varias realidades; por un lado una periferia y extrarradio con un vigor vegetal alto, sobre todo en la zona suroeste y el Parque Grande José Antonio Labordeta (exceptuando Arcosur que todavía está en construcción), y por otro lado zonas con un menor peso de vegetación como Delicias en donde solo observamos presencia vegetal en el Paseo Calanda. Sin embargo, aunque en estas zonas tiene poco futuro a corto la inclusión en las

mismas de vegetación, el PGOU de 1968 encaminado a solventar estas problemáticas y a unir los barrios periféricos de la época, aprovechó los vacíos urbanos que existían para realizar zonas verdes e intentar suavizar el problema. Es el caso de zonas verdes en la zona oeste de Delicias, la puesta en marcha de arbolado en San Juan de la Peña y el Picarral o la creación de parques como el de Torre Ramona, Miraflores o el de la Paz...

6 CONCLUSIONES

Zaragoza es una ciudad que ha experimentado en menos de un siglo un crecimiento extraordinario, multiplicando por 8 su tamaño desde 1927. Sin embargo, este crecimiento no ha sido constante en el tiempo y ha habido etapas en las que la urbanización ha quedado estancada por diferentes circunstancias, mientras en otras los factores de contexto han contribuido a la expansión urbana. A su vez, la presencia de vegetación urbana en la ciudad es importante y, hoy por hoy, la podemos encontrar en muchos puntos de la ciudad, convirtiendo Zaragoza en una de las ciudades con mayor número y superficie de zonas verdes por habitante (Ayuntamiento de Zaragoza, 2016). Sin embargo, esto no ha sido así siempre, debiéndose resaltar que siguen existiendo pequeñas zonas en la ciudad que por una razón urbanística histórica carecen de vegetación.

Aunque el crecimiento de la ciudad y el análisis de la vegetación urbana han sido tratados con anterioridad por diversos autores, grupos e instituciones, el uso de fotografías aéreas exclusivas o poco usadas, que aquí se ha abordado, le da al trabajo un interés añadido. El tratamiento, corrección, georreferenciación y mosaicado de las de las fotografías aéreas de 1927, 1939, 1947, 1965 y 1984, así como la edición vectorial y la foto-clasificación de las diferentes tipologías de suelo urbano para cada año de estudio, supone, aparte de un laborioso trabajo, su inclusión en formato digital; se generan, así, nuevas fuentes de información para la realización de estudios de la ciudad de Zaragoza, puesto que son documentos que permite observar fenómenos diversos de manera visual y sencilla. Otro aspecto que cabe destacar de este trabajo es la interpretación de lo foto-clasificado mediante la información consultada relativa a las políticas urbanísticas y otras fuentes bibliográficas, que corroboran la calidad y veracidad del estudio, al tiempo que aportan información cualitativa de la evolución cartografiada mediante las imágenes fotográficas.

En relación con el empleo de las tecnologías de la información geográfica (SIG y teledetección), puede afirmarse que se han mostrado como óptimas herramientas a la hora de realizar un análisis urbano de esta naturaleza, si bien la escasa disponibilidad temporal de imágenes de satélite antes de 1972 explica que parte del estudio quede condicionado a la imposibilidad de obtener información de satélite para las primeras décadas. Sin embargo, el uso de dos técnicas diferentes en el mismo trabajo –como son el análisis visual por fotointerpretación y el tratamiento digital de los datos– de forma ha resultado muy positivo para el estudio. Así, mientras que el uso de fotografías aéreas no posibilitaba el análisis de la presencia de vegetación urbana en la ciudad, más allá de la fotointerpretación de zonas verdes de un cierto tamaño, la aplicación de índices espectrales de vegetación ha permitido su cartografía dentro del callejero urbano.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Adiego, E., Báguena, J.A., Calvo, J.L., Grillo, E. (Coords.)(1984). *Zaragoza Barrio a Barrio*. Zaragoza: Ayuntamiento, D.L.
- Ayto. Zaragoza (2016). *Premio Capital Verde Europea 2016. 3. Zonas verdes urbanas. Uso sostenible del suelo*. Ayuntamiento de Zaragoza [en línea]. Disponible en <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/ZGZVERDEES/3Zonasverdesurbanas.pdf> [último acceso, junio de 2016].
- Calvo Palacios, J.L (2011). “La ciudad de Zaragoza en un escenario de crisis: diagnóstico y propuestas territoriales para nuevos paradigmas urbanos”, *Geographicalia*, 59-60, p. 47.
- Chuvieco Salinero, E. (2002). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel Ciencia.
- Chuvieco Salinero, E. (2000). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: Rialp.
- CNIG (2016). *Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica*. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/> [último acceso, marzo de 2016].
- de Miguel González, R. (2014). “Metamorfosis urbana en Zaragoza”. *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, XIX (1083). [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona. Disponible en <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-1083.htm>> [último acceso, mayo de 2016].
- Frenchman, D. y Mitchell, W.J. (coords) (2006). *Zaragoza-Milla Digital. Un Nuevo espacio público para el siglo XXI*. Zaragoza: MIT School of Architecture and Planning.
- García, J., Andrés, S. y Martínez, M. (2010). *Método para identificación de cultivos de arroz (Oryza sativa L.) con base en imágenes de satélite*. Agronomía Colombiana.
- Germán Zubero, L. (2009). “Remando a favor de la corriente. El Polo de Desarrollo de Zaragoza”. En J. de la TORRE y M. GARCIA ZUÑIGA (coords.) *Entre el Mercado y el Estado. Los Planes de Desarrollo durante el franquismo*. Pamplona.
- GLOVIS (2016). USGS Global Visualization Viewer. <http://glovis.usgs.gov/> [último acceso, mayo 2016]
- Marco Fraile, R. y Buil Guallar, C. (coords.) (2009), *Zaragoza, 1908-2008: Arquitectura Y Urbanismo*. Zaragoza: Demarcación de Zaragoza del Colegio Oficial de Arquitectos de Aragón.
- Yeste Navarro, I. (1993). *Pervivencias y modificaciones del trazado medieval del casco urbano de Zaragoza en época contemporánea*. Universidad de la Rioja.
- Yeste Navarro, I., Forcadell Álvarez, C., y Borrás Gualis, G .(coords.) (2006). *Zaragoza, 1908-2008*, Madrid: FCC Construcción.